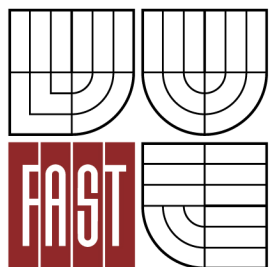




**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA STAVEBNÍ**  
**ÚSTAV TECHNOLOGIE STAVEBNÍCH HMOT A DÍLCŮ**

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING  
INSTITUTE OF TECHNOLOGY OF BUILDING MATERIALS AND COMPONENTS

# **NÁVRH VHODNÝCH ALTERNATIVNÍCH SUROVIN PRO VÝROBU SUPER IZOLAČNÍCH KERAMICKÝCH TVAROVEK**

DESIGN OF ALTERNATIVE RAW SOURCES FOR SUPER INSULATION CERAMICS BLOCKS  
PRODUCTION

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**  
BACHELOR'S THESIS

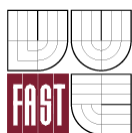
**AUTOR PRÁCE**  
AUTHOR

**Vítězslav Novák**

**VEDOUCÍ PRÁCE**  
SUPERVISOR

**Ing. JIŘÍ ZACH, Ph.D.**

BRNO 2012



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

<b>Studijní program</b>	B3607 Stavební inženýrství
<b>Typ studijního programu</b>	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
<b>Studijní obor</b>	3607R020 Stavebně materiálové inženýrství
<b>Pracoviště</b>	Ústav technologie stavebních hmot a dílců

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

<b>Student</b>	Vítězslav Novák
<b>Název</b>	Návrh vhodných alternativních surovin pro výrobu super izolačních keramických tvarovek
<b>Vedoucí bakalářské práce</b>	Ing. Jiří Zach, Ph.D.
<b>Datum zadání bakalářské práce</b>	30. 11. 2011
<b>Datum odevzdání bakalářské práce</b>	25. 5. 2012
V Brně dne 30. 11. 2011	

.....  
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.  
Vedoucí ústavu

.....  
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.  
Děkan Fakulty stavební VUT

### **Podklady a literatura**

- [1] Pytlík, P, Vlastnosti a užití stavebních výrobků, VUTIUM, Brno 1998
- [2] Matoušek, M., Lehké stavební látky II, SNTL, Praha 1985
- [3] Šťastník, S., ZACH, J., Stavební akustika a zvukoizolační materiály, CERM, Brno 2002
- [4] Šťastník, S., Zach, J., Zkoušení izolačních materiálů, CERM, Brno 2002
- [5] Fridrichová, M., Dvořák, K., Omítky, Brno, Vydavatelství ERA. 2005

### **Zásady pro vypracování**

Práce se bude věnovat výběru vhodných vstupních surovin, které by bylo možné využít pro lehčení keramického střepeu při výrobě tepelně izolačních tvarovek s velmi vysokým tepelným odporem, a dále výběru vhodných izolačních materiálů pro výplň tepelně izolačních keramických bloků pro zdění. Hlavní důraz bude kladen na optimalizaci výsledných vlastností keramických zdících tvarovek, především z pohledu jejich tepelně technických vlastností a vymezení jejich možného uplatnění ve stavební praxi.

### **Předepsané přílohy**

Licenční smlouva o zveřejňování vysokoškolských kvalifikačních prací, rozsah práce cca 40 stran včetně tabulek a grafů.

.....  
Ing. Jiří Zach, Ph.D.  
Vedoucí bakalářské práce

## **Abstrakt**

Práce se věnuje zlepšení tepelně technických vlastností současných keramických tvarovek pro obvodové zdivo. Jako nevhodnější postup při zlepšení tepelně technických vlastností keramických tvarovek bylo vyhodnoceno integrování tepelné izolace do dutin keramických tvarovek.

V rámci práce byl proveden přehled materiálů použitelných jako integrovaná tepelná izolace a materiálů použitelných jako lehčiva keramického střeptu. Bylo také provedeno zhodnocení současných tvarovek s integrovanou tepelnou izolací.

V praktické části byla navržena směs z cementu a odpadního PUR granulátu. Na této směsi byly stanoveny základní mechanické a tepelně technické vlastnosti. S využitím těchto hodnot byla simulována výsledná tvarovka s užitím uvedené směsi jako integrované izolace. Výsledná tvarovka byla hodnocena z hlediska možnosti použití a byla porovnána se současným trhem keramických tvarovek s integrovanou izolací.

## **Klíčová slova**

Keramický blok, lehčivo, integrovaná tepelná izolace, odpadní PUR granulát.

## **Abstract**

The work deals with improving of the thermal properties of contemporary ceramic fittings for external walls. Integrating of cavity insulation ceramic blocks was evaluated as the most suitable procedure for improving the thermal properties of ceramic fittings.

The work contains a overview of the materials which can be used as integrated heat insulation and materials which can be used as a lightener ceramic body. Contemporary fittings with integrated thermal insulation were also evaluated.

There was designed a mix of cement and waste PUR granules in the practical part. The basic mechanical and thermal properties were defined on this mixture. Using these values, the resulting hardware was simulated with using the mixture as an integrated insulation. The final fitting was evaluated in terms of usability and was compared with the current market of integrated insulation ceramic blocks.

## **Keywords**

Ceramic block, lightener, integrated thermal insulation, polyurethane granulate waste.



### **Bibliografická citace VŠKP**

NOVÁK, Vítězslav. *Návrh vhodných alternativních surovin pro výrobu super izolačních keramických tvarovek*. Brno, 2012. 52 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce Ing. Jiří Zach, Ph.D..

**Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval samostatně, a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 19.5.2012

.....  
podpis autora  
Vítězslav Novák

## **Poděkování**

Rád bych poděkoval Ing. Jiřímu Zachovi, Ph.D. za vedení bakalářské práce a také profesionální přístup, trpělivost, rady, inspiraci a diskuze při vypracování této bakalářské práce

Také bych rád poděkoval Ing. Martinu Sedlmajerovi, Ph.D. za ochotu a pomoc při práci v laboratoři.

Rovněž bych chtěl poděkovat rodině za podporu při studiu a tvorbu potřebného zázemí.

<b>A.</b>	<b>Úvod.....</b>	<b>- 2 -</b>
<b>B.</b>	<b>Teoretická část.....</b>	<b>- 3 -</b>
1.	Termíny a definice.....	- 3 -
2.	Současné pálené zdící prvky.....	- 6 -
3.	Lehčiva střepe.....	- 9 -
3.1.	Současná lehčiva .....	- 9 -
3.2.	Alternativní lehčiva .....	- 11 -
4.	Materiály použitelné jako integrovaná tepelná izolace keramických tvarovek ..	- 15 -
4.1.	Minerální vlna .....	- 16 -
4.2.	Polystyrénové pěny .....	- 17 -
4.3.	Perlit .....	- 18 -
4.4.	Ovčí vlna .....	- 19 -
4.5.	Tuhá polyuretanová pěna .....	- 20 -
5.	Současný sortiment keramických tvarovek s vysokým tepelným odporem .....	- 21 -
5.1.	Poretherm T Profi (firma Wienerberger).....	- 21 -
5.2.	HELUZ FAMILY 2in1 (firma Heluz).....	- 21 -
5.3.	EcoPex (firmy PEXIDER).....	- 22 -
5.4.	POROTON T (firma Schlagmann) .....	- 23 -
5.5.	UNIPOR CORISO (firmy UNIPOR).....	- 23 -
5.6.	ThermoPlan® (firma JUWÖ).....	- 24 -
<b>C.</b>	<b>Praktická část .....</b>	<b>- 26 -</b>
1.	Cíl práce.....	- 26 -
2.	Popis praktické části.....	- 26 -
3.	Metodika práce.....	- 27 -
4.	Popis provedených zkoušek.....	- 29 -
5.	Receptury.....	- 32 -
5.1.	Průmyslově vyráběná směs.....	- 32 -
5.2.	Navržená receptura .....	- 33 -
6.	Výsledky měření.....	- 34 -
6.1.	Makroskopický rozbor PUR granulátu.....	- 34 -
6.2.	Stanovení základní vlastnosti PUR granulátu .....	- 37 -
6.3.	Stanovení vlastností průmyslově vyráběné PUR izolační směsi .....	- 39 -
6.4.	Stanovení vlastností navržené PUR-cementové směsi.....	- 42 -
7.	Matematický výpočet výsledné tvarovky a zdiva.....	- 47 -
<b>D.</b>	<b>Závěr.....</b>	<b>- 50 -</b>
<b>E.</b>	<b>Seznamy .....</b>	<b>- 51 -</b>

## A. Úvod

Cihla je používána jako stavební materiál již řadu let, uvádí se více jak 10000let. Jedná se prakticky o nejstarší umělé stavivo, například „cihla plná“ je stavební výrobek používaná již 6000 v téměř nezměněné podobě. V dnešní době je cihla výrobek vyráběný plně automatizovaným a kontrolovaným způsobem. Rozptyl konečných vlastností má jen velmi malé tolerance, které jsou garantovány systémem kontroly výroby.

Vývoj keramických prvků pro obvodové zdivo se v posledních desítkách let velmi zrychlil. Rychlost vývoje je dána mimo jiné také stále se zpřísňujícími požadavky na tepelně technické vlastnosti obvodových konstrukcí. Do roku 1964 platil standard tzv. cihelný ekvivalent, empiricky odvozený z tepelného odporu 450 mm silného zdiva z plných cihel pálených. Jedná se o tepelný odpor cca  $0,5 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$ . Následně byla požadovaná hodnota tepelného odporu obvodových konstrukcí postupně navyšována, přičemž v současné době činí požadovaná hodnota tepelného odporu u jednovrstvého obvodového zdiva  $R_N = 2,46 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$  (ekvivalent požadované hodnoty součinitele prostupu tepla  $U_N = 0,38 \text{ W} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{K}^{-1}$ ). K dalšímu zpřísnění požadovaných hodnot dojde 1.1.2013.

Toto zpřísňování tepelně technických nároků na obvodové konstrukce je jedním z hlavních podnětů k vývoji zcela nových druhů keramických tvarovek pro obvodové konstrukce. Jednotlivý výrobci se snaží každý rok uvést na trh produktovou řadu keramických tvarovek s lepšími tepelně technickými vlastnostmi, případně poměrem tepelně technických a mechanických vlastností, či jinou inovací. Inovace se týkají i samotného systému výstavby zděných konstrukcí. V neposlední řadě zde také hraje svoji roli marketingová strategie výrobců. Jednotlivý výrobci se snaží pokořit svým produktem vlastnosti produktu konkurenční firmy a zvýšit tak objem vlastního prodeje.

V současné době jsou nejrozšířenějším produktem v oblasti keramických tvarovek pro obvodové zdivo tvarovky pod označením THERM. Tyto tvarovky se vyznačují specifickým tvarem vylehčovacích otvorů, použitím lehčeného cihelného stěpu o nízké objemové hmotnosti a zámkovým systémem zazubení ve vztyčných sparách. Objemová hmotnost tvarovek se pohybuje v rozmezí  $600 - 800 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ . Díky této hodnotě vykazují konstrukce z těchto tvarovek velmi dobré tepelně izolační vlastnosti, ovšem často na úkor zhoršení jiných vlastností, především pevnosti v tlaku a tepelně akumulčních vlastností.

Tato bakalářská práce se věnuje zlepšení tepelně technických vlastností současných keramických tvarovek. Práce se zabývá nejprogresivnějším technologickým postup, jak dosáhnout zlepšení tepelně technických vlastností keramické tvarovky – integrací teplené izolace do dutin tvarovky. Je zde také provede návrh vhodných vstupních surovin do výrobního procesu, zlepšujících tepelně technické vlastnosti výsledné tvarovky.

V rámci celé práce bude kladen důraz na využití a recyklaci odpadních materiálů.

## **B. Teoretická část**

### **1. Termíny a definice**

#### **1.1. Materiál**

Hmota, ze které je výrobek/konstrukce nebo jeho vrstva/část vyrobena, bez deklarovaných vlastností, povrchové úpravy, určení způsobu dodání, zabudování do stavby a podobně. [2]

#### **1.2. Tepelně izolační materiál**

Materiál výrazně omezující šíření tepla, vykazující charakteristickou hodnotu součinitele tepelné vodivosti maximálně  $0,1 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$  při referenčních teplotních a vlhkostních podmínkách a daném stáří. [2]

#### **1.3. Stavební výrobek**

Konečná podoba materiálu/lů, nebo sestava prvků/výrobků obvykle průmyslově vyráběná při stálých podmínkách a nabízena k prodeji s deklarovanými vlastnostmi a pod stejným obchodním názvem nebo sestavená s výrobcem určenými vlastnostmi v rozsahu nutném pro bezpečný návrh budovy v rozsahu základních požadavků a s určeným způsobem zabudování výrobků do stavby a takto uváděna na trh. [2]

#### **1.4. Stavební prvek**

Na stavbu dodávaný výrobek s určenými vlastnostmi, který po zabudování do stavby tvoří stavební konstrukci nebo její část. [2]

#### **1.5. Zdící prvek**

Stavební prvek, obvykle tvárnice, cihla, tvarovka, blok daného tvaru, rozměrů a dalších vlastností s otvory, zářezy, drážkami, prohlubněmi nebo bez nich, který určeným uspořádáním a vzájemným spojením tvoří zdivo s určenými vlastnostmi. [2]

### 1.6. Zdivo

Seskupení zdících prvků uložených podle stanoveného uspořádání a spojených vzájemně maltou pro zdivo.

[2]

### 1.7. Vnější konstrukce

Konstrukce, která je ve styku zároveň s venkovním a vnitřním prostředím a konstrukce přilehlá k zemině.

[2]

### 1.8. Šíření tepla

Přenos energie vedením, prouděním nebo sáláním, nebo jejich vzájemnou kombinací (obvykle z místa s vyšší teplotou do místa s nižší teplotou).

[2]

### 1.9. Součinitel tepelné vodivosti – $\lambda$ [W.m<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>]

Součinitel tepelné vodivosti vyjadřuje schopnost homogenního isotropního materiálu vést teplo. Jedná se o přenášení tepelného výkonu [W] plochou homogenního isotropního materiálu o velikosti 1 m<sup>2</sup> na vzdálenost 1 m při teplotním spádu jednoho teplotního stupně 1 K. Dle ČSN 73 0540 je dán součinitel tepelné vodivosti vztahem:

$$\lambda = \frac{q}{-\text{grad}\theta}$$

q – vektor hustoty ustáleného tepelného toku sdíleného vedením, proudícího stejnorodým isotropním materiálem [W.m<sup>-2</sup>]

grad  $\theta$  – gradient teploty [K.m<sup>-1</sup>]

[2]

Součinitel tepelné vodivosti je velmi důležitou vlastností stavebních materiálů v oblasti jejich tepelně technických vlastností. Jeho znalost je důležitá při návrhu a hodnocení vlastností stavebních konstrukcí. Tepelně technické požadavky v oblasti tepelné ochrany stavebních konstrukcí jsou uvedeny v ČSN 73 0540-2. Pro hodnocení tepelně izolačních vlastností konstrukcí se používá součinitel prostupu tepla U [W.m<sup>-2</sup>.K<sup>-1</sup>], který nahradil dříve běžně používaný parametr stavebních konstrukcí odpor konstrukce při prostupu tepla R [m<sup>2</sup>.K.W<sup>-1</sup>] (V ČSN 73 0540-2 jsou uvedeny jeho požadované a doporučené hodnoty).

Praktická hodnota součinitele tepelné vodivosti je závislá především na:

- vlhkosti,
- pórovitosti (objemové hmotnosti),
- struktuře (izotropie – anizotropie),
- teplotě.

Dle součinitele tepelné vodivosti rozdělujeme materiály na:

- vysoce tepelně izolační materiály:  
 $\lambda = \text{cca } 0,03 - 0,10 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ ,  $\rho < 500 \text{ kg.m}^{-3}$
- materiály s dobrými tepelně izolačními vlastnostmi:  
 $\lambda = 0,10 - 0,30 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ ,  $\rho = 500 - 800 \text{ kg.m}^{-3}$
- materiály se středními tepelně izolačními vlastnostmi:  
 $\lambda = 0,30 - 0,60 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ ,  $\rho = 800 - 1600 \text{ kg.m}^{-3}$
- materiály s běžnými tepelněizolačními vlastnostmi:  
 $\lambda = 0,60 - 1,25 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ ,  $\rho = 1600 - 2400 \text{ kg.m}^{-3}$
- velmi hutné anorganické materiály:  
 $\lambda = 1,25 - 3,50 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ ,  $\rho > 2400 \text{ kg.m}^{-3}$
- ostatní velmi hutné izotropní materiály:  
 $\lambda > 3,50 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$
- kovy:  
 $\lambda > 50,00 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$

[3]

### **1.10. Měrná tepelná kapacita – c [J.kg<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>]**

Jedná se množství tepelné energie nutné dodat 1 kg materiálu při stálém tlaku, aby se zvýšila jeho teplota o jeden teplotní stupeň. Dle ČSN 73 0540 je dána měrná tepelná kapacita vztahem:

$$c = \frac{E}{m \cdot \Delta\theta}$$

E – tepelná energie (množství přivedeného tepla) [J]

m – hmotnost [Kg]

$\Delta\theta$  – přírůstek teploty [K]

[2]

Praktická hodnota měrné tepelné kapacity závisí u stavebních materiálů na:

- vlhkosti,
- teplotě.

Měrné tepelné kapacity běžných materiálů se při obvyklých teplotách v suchém stavu pohybují v rozmezí:

- anorganické materiály,  $c = 840 - 1500 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$
- organické materiály umělé,  $c = 1000 - 2500 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$
- organické materiály přírodní,  $c = \text{cca } 2500 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$

[3]



### 1.11. Tepelný odpor – $R$ [ $\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$ ]

Jedná se tepelně izolační vlastnost konkrétní materiálové vrstvy o definované tloušťce. Dle ČSN 73 0540 je dán tepelný odpor vztahem:

$$R = \frac{d}{\lambda}$$

d – tloušťka vrstvy [m]

[2]

### 1.12. Součinitel prostupu tepla – $U$ [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ ]

Jedná se o charakteristiku tepelně izolačních parametrů stavební konstrukce, která vyjadřuje míru jejich tepelných ztrát prostupem tepla vztaženou na jednotku plochy a jednotkový teplotní spád. Dle ČSN 73 0540 je dán součinitel prostupu tepla vztahem:

$$U = \frac{1}{R}$$

[2]

## 2. Současné pálené zdicí prvky

Pálené zdicí prvky lze obecně umístění zdiva v konstrukci stavby rozdělit:

- Prvky pro vnější nosné obvodové zdivo
- Prvky pro nosné zdivo
- Prvky pro nenosné (výplňové) zdivo
- Režné lícové zdivo

Na trhu se pravidelně objevují nové výrobky splňující neustále se zvyšující požadavky nejen na jejich fyzikálně-mechanické vlastnosti, ale i na rychlost a kvalitu samotné výstavby. V oblasti výroby keramických tvarovek pro vnější jednovrstvé obvodové zdivo je v současné době prioritou dosažení maximálních tepelně izolačních vlastností vytvořeného zdiva.

V sortimentu největších tuzemských výrobců zdicích prvků je vždy nosným artiklem tvarovka pro vnější obvodové zdivo, obecně nazývaná jako tvarovka typu THERM, která musí zajistit minimální požadovaný tepelný odpor, respektive součinitel prostupu tepla vytvořeného zdiva. Jedná se o hodnoty dané ČSN 73 0540-2. Vzhledem k poměrně přísným hodnotám jsou na materiál kladeny protichůdné požadavky (především pevnost versus tepelná izolace).

Zlepšení tepelně izolačních vlastností keramické tvarovky je možné několika základními způsoby. Jedná se o zvětšování tloušťky tvarovky/zdiva, snížení tepelné vodivosti střepe tvarovky prostřednictvím vylehčení střepe, zvyšování podílu děrování tvarovky a optimalizace vnitřního uspořádání a broušení ložných ploch tvarovky. Všem těmto způsobům zlepšení tepelně izolačních vlastností keramické tvarovky se bude podrobněji věnováno v následující práci. Je však nutné uvést, že u všech uvedených způsobů bylo dosaženo optimální hranice, přes kterou již není technických či ekonomických důvodů rozumné zacházet.

Novým a velmi progresivním způsobem zlepšení tepelně izolačních vlastností keramické tvarovky je integrace tepelné izolace do dutin tvarovky. Jedná se izolaci aplikovanou po vypálení keramické tvarovky. Tyto tvarovky se již v objevily na evropském i českém trhu. Tvarovky jsou však stále ve fázi vývoje, výzkumu a hledání nejvhodnějších kombinací tvarovky s tepelných izolací. Je zde také myšleno na možnou recyklaci druhotných surovin pro výrobu těchto tvarovek.

## 2.1. Tvarovky THERM

Rozměry tvarovek jsou upraveny tak, aby na m<sup>2</sup> zdiva byla spotřeba 16 kusů tvarovek (4x4). Pro běžné zdění na maltu mají tvarovky výšku 238mm (ložná spára 12mm) a délku 247mm. Nejběžnější šířky tvarovek jsou 440, 400 a 365, v současné době až 490mm. Ve svislých spárách jsou dnes téměř bezvýhradně tvarovky opatřeny systémem perodrážka (označuje se P+D),

Společným rysem těchto tvarovek je jejich nízká objemová hmotnost (600 – 800 kg.m<sup>-3</sup>) z důvodu dosažení maximální tepelně izolační funkce. Nízké objemové hmotnosti tvarovek je dosahováno dvojím způsobem:

- děrováním tvarovky,
- vylehčením střepe.

Tvarovky bývají označeny většinou Si, STI, Ti a podobně (obvykle výrobce používá některé z počátečních písmen slov: super – tepelně – izolační). Tyto tvarovky jsou již téměř na hranici technologických možností s ohledem na mechanické vlastnosti tvarovek. Vyšší stupeň vylehčení tvarovky je zajištěn především vyšším podílem děrování s tenčími žebry – ve stejné tloušťce tvarovky je více řad otvorů. Tento nový typ tvarovek obvykle převyšuje požadavek tepelně technické normy (ČSN 73 0540-2), ovšem za cenu poklesu pevnosti přibližně podle závislosti:

$$\sigma_L = \sigma \cdot \left( \frac{\rho_L}{\rho} \right)^{3,6}$$

$\sigma_L$  – pevnost v tlaku vylehčené tvarovky [N.mm<sup>-2</sup>]

$\sigma$  – pevnost v tlaku nevylehčené tvarovky [N.mm<sup>-2</sup>]

$\rho_L$  – objemová hmotnost vylehčené tvarovky [kg.m<sup>-3</sup>]

$\rho$  – objemová hmotnost nevylehčené tvarovky [kg.m<sup>-3</sup>]

[1]

Aby byly využity veškeré výhody tepelně izolačních tvarovek typu THERM, je třeba s tímto materiálem správně zacházet. Pro vyzdívání rohů a dalších detailů je nezbytné využívat i dostupný doplňkový sortiment.

Vzhledem k dosažení rozumné hranice vylehčení střepeu je zvýšení tepelného odporu tvarovek možné pouze zvyšováním tloušťky tvarovek, tedy zdiva. Tato cesta není příliš žádaná, z toho důvodu se na trhu začaly objevovat tvarovky s vyplněnými dutinami tepelně izolačním materiálem.

## **2.2. Broušené tvarovky**

V sortimentu zdicích tvarovek pro obvodové zdivo jsou tvarovky broušené, které díky velmi malým rozměrovým tolerancím dovolují tenkovrstvé zdění ložné spáry (podobně jako u přesných pórobetonových tvarovek). Tloušťka ložné spáry se předpokládá 1 mm, což snižuje množství použité malty a zvyšuje tepelněizolační vlastnosti zdiva. Pro spojování broušených tvarovek lze obvykle použít (podle výrobce) tři typy lepicích hmot, které jsou již obvykle součástí dodávky samotných tvarovek:

- polymercementová lepicí hmota pro tenkou spáru, která je obvykle řidší konzistence a je určena pro nanášení pouze na žebra tvarovek.
- polymercementová lepicí hmota pro celoplošnou tenkou spáru, která zakrývá žebrování tvarovek v ložné spáře.
- nízkoexpanzní polyuretanová (PUR) pěna – tzv. dry fix systém zdění, která umožňuje suchý proces zdění i při záporných teplotách (obvykle doporučováno do  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), na rozdíl od polymercementových hmot, které vyžadují minimální teplotu  $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Mezi výhody broušených tvarovek patří snížení podílu spár ve zdivu, tedy snížení tepelných mostů konstrukce. Také se snižuje spotřeba lepicí hmoty a zvyšuje rychlost zdění. Vliv broušených tvarovek, tedy tenké spáry, se projevuje na celkové pevnosti zdiva.

Mezi nevýhody broušených tvarovek patří nutnost dodržení dokonalé rovinnosti založení první řady. Z tohoto důvodu výrobci standardně nabízí službu založení zdiva. [1]

## **2.3. Děrování tvarovek**

Otvory by měli být úzké, dlouhé a vzájemně přesazené, orientované kolmo k tepelnému toku ve stěně. Počet řad otvorů kolmo k tepelnému toku má vliv na velikost tepelného odporu. Každá řada otvorů zvyšuje tepelný odpor tvarovka asi o  $0,03$  až  $0,05\text{ m}^2\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}$  Současné tvarovky. V současné době je obvyklý podíl děrování tvarovek typu THERM v intervalu 50 až 60 %. Někdy bývají součástí děrování i otvory pro snadnější uchopení (tzv. uchopovací otvory), které ovšem často nesprávně svádějí k jejich zaplňování zdicí maltou nebo i betonem, což výrazně snižuje tepelně izolační schopnosti zdiva. [1]

### 3. Lehčiva střepu

Obecně rozeznáváme dva základní druhy lehčiv:

- lehčiva přímá - jsou to látky, které při výpalu vyhoří,
- lehčiva nepřímá, jsou to látky, které snižují objemovou hmotnost keramického střepu v důsledku vlastní nízké objemové hmotnosti.

V dnešní době se nejčastěji jako lehčivo využívají dřevěné piliny, které se přidávají v množství 30% hmotnostních výrobní směsi, nebo papírenské kaly. Stále větší nedostatek dřevěných pilin a rostoucí cena této suroviny nutí výrobce zabývat se jejich možnou náhradou.

#### 3.1. Současná lehčiva

##### 3.1.1. Dřevěné piliny

Pilinami rozumíme odpad z dřevozpracujícího průmyslu vznikající především na pilách. Výhodou pilin je to, že se jedná o obnovitelný zdroj energie. Nejvíce se používají smrkové piliny. Piliny zalísované do střepu vyhořívají při teplotách 250 – 750°C. Jako střední hodnotu teploty vyhořívání lze uvažovat teplotu 350°C. Výhřevnost piliny je srovnatelná s výhřevností hnědého uhlí – přibližně 17 MJ.kg<sup>-1</sup>. Při spalování dochází k úniku CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O a CH<sub>4</sub>. Nejvíce vhodné jsou pro použití v cihlářství měkké piliny od kotoučových pil. Důležitou roli hraje jejich stejná velikost, proto se prosívají na jemném sítu 1 – 2mm. Tím se zaručí vznik stejnoměrných pórů.

Piliny se v současné době stávají velmi oblíbenou druhotnou surovinou využívanou ve stavebnictví (pilinobeton, dřevotřískové desky, cihlářství) nebo jako palivo (spalování v pilinových kamnech, slisované brikety). Velký zájem o tuto surovinu způsobuje její rostoucí cenu.

Piliny mohou působit i jako ostřívo. Jejich použití ovlivňuje výsledné fyzikálně mechanické vlastnosti střepu – pevnost v tahu, pevnost v tlaku, nasákavost, tepelnou vodivost, objemovou hmotnost, citlivost k sušení, smrštění.

[4]

##### 3.1.2. Papírenské kaly

Papírenské kaly pocházejí ze zpracování odpadového papíru. Jedná se o směs vláken, atrementů, jílu, plniv a TiO<sub>2</sub>. Kaly jsou zpracovávány technologií deinking. Deikeng je průmyslový proces, během kterého je z vláken sběrového papíru odstraňována barva, čímž dojde k zesvětlení. Toto je docíleno kombinací mechanického a chemického čištění.

Průběh výpalu papírenských kalů lze popsat následovně. Od 300 – 390°C dochází k vyhořívání organických látek. 390 – 660°C je oblast významných endotermických reakcí, kdy dochází k dehydrataci Ca(OH)<sub>2</sub> a dehydroxilaci kaolinitu. Při teplotách 660 –

930°C dochází k rozkladu vápence. K tomu je zapotřebí velké množství tepla – 1777 KJ.kg<sup>-1</sup>. To vede ke zvýšení spotřeby energie během výpalu při použití papírenských kalů jako lehčiv. Výhřevnost papírenských kalů je poměrně nízká asi 3 MJ.kg<sup>-1</sup>. Obsahují až 80 % nespalitelných anorganických podílů – nejčastěji vápenec a kaolinit. Obsah emisí CO i SO<sub>2</sub> ve spalínách je nižší než například u dřevěných pilin. Pórová struktura vykazuje rozdílný charakter oproti směsi s pilinami – póry jsou menší. V porovnání s pilinami dochází k menšímu snížení objemové hmotnosti.

[4]

### **3.1.3 Pěnový polystyren**

Polystyren je lehká pevná látka, která vzniká polymerizací styrenu. Patří mezi nejrozšířenější tepelně zpracované plasty. Styren je látka běžně se vyskytující v přírodě, průmyslově se vyrábí z ropy. Zpěněný polystyren se předpěňuje působením syté vodní páry v předpěňovacích zařízeních.

Expandovaný polystyren podléhá teplotnímu rozpadu při teplotách 300-500 °C, aniž by po něm zůstával popel. Jedná se o přímo působící lehčivo. Při vyhoření uniká ve spalínách styren s benzen ve formě plynu, který je následně rozložen na CO, CO<sub>2</sub> a H<sub>2</sub>O. Průběh vyhoření je poměrně rychlý. Bod vznícení styrenu je větší než 450 °C, proto může být potřeba zařízení k dostatečnému spalování spalin, aby se zamezilo nežádoucímu úniku styrenu do ovzduší.

Polystyren vytvoří po vyhoření na povrchu střepu typické „krátery“, které jsou považovány laickou veřejností za jedno z identifikačních znamení tepelně izolačních cihel. Mimo jiné i z tohoto důvodu některé cihelny přidávají menší podíl polystyrenu do směsi, i když zde neslouží jako hlavní lehčivo.

Cihelny mohou používat již napěněný polystyren (recyklovaný, drcený) a nebo mohou disponovat vlastní napěňovací linkou, kde si vyrábí sami svůj polystyren. V tomto případě se vyrábí ze surové směsi, která je obvykle dodávána ve 125 kg barelech nebo v 1 t kontejnerech (jedním z typických příkladů může být materiál s obchodním názvem Styropor P500).

[4]

### 3.2. Alternativní lehčiva

#### 3.2.1. Rýžové slupky a otruby

Rýžové slupky jsou pevná vnější vrstva zrníček rýže. Slupka se skládá z oxidu křemičitého a ligninu. Jedná se o část rýže nestrávitelnou pro člověka. Slupka plní během vegetačního období ochranu zrn rýže.

Rýže se začal zpracovávat již v sedmnáctém století, kdy se pomocí profukování oddělovala rýžová slupka od zbytku rýže. Při tomto procesu získáváme hnědou rýži. Následným mletím se odstraňují otruby a získáváme rýži bílou.

V dnešní době se produkuje zhruba 600mil tun neloupané rýže. Slupka tvoří 20%, roční produkce slupek rýže je tedy 120mil tun. Slupky je možné použít jako lehčivo stavebních materiálů, hnojivo a biopalivo. V dnešní době se část produkce využije jako biopalivo, zbytek je označen za odpad.

Rýžové slupky mají také potenciál jako lehčivo. Rýžové slupky jsou spalitelné při teplotě 800 – 900°C, je tedy možné usuzovat, že by v keramickém střepe působili jako přímé lehčivo. Popel rýžových slupek je z 95% tvořen křemíkem.

Odpadní rýžové slupky vázány na konkrétní lokalitě, kde je pěstována rýže. Avšak i u nás v ČR a v celé Evropě vzniká množství obdobného zemědělského odpadu. Jedná se o odpad z pěstování obilnin - otruby. Otruby jsou odpadní produkty, které přepadávají při vysévání meliva z posledních šrotů, vymílacích a domílkových chodů, dále od loupání a kartáčování obilí. Podle granulace se dělí na hrubé (od kartáčování a šrotů) a jemné (z vymílání a loupání). Obsahují nejen částice slupek, ale i částice klíčků a endospermu, poněvadž ani moderní technologie nezaručuje její úplné oddělení. Při mletí pšenice se získává 17–18,5 %, žita 20–25 %, ječmene asi 22 % otrub. Otrub se využívá hlavně v krmivářství. Tento odpad má obdobný charakter jako rýžové slupky a je tedy možné usuzovat v jeho obdobné využití.



**Obr. 1** Odpadní rýžové slupky



**Obr. 2** Odpadní otruby

[5], [6]

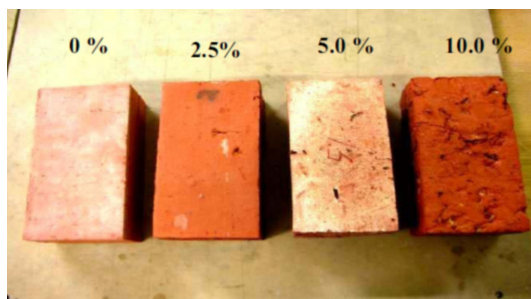
### 3.2.2. Cigaretové nedopalky

V roce 2004 se na celém světě se vyrobilo 5,5 bilionu cigaret. V důsledku toho vzniká 1,2 milionu tun toxického odpadu tvořeného nedopalky. Nedopalky jsou tvořeny acetátem celulózy, který je obsažen ve filtrech. Díky obsahu acetátu celulózy je odpad velmi špatně biologicky rozložitelný. Skladování tohoto odpadu není všeobecně udržitelné, je tedy nutné přijít se způsobem recyklace tohoto odpadu. Při případném spalování tohoto odpadu vzniká celá řada nebezpečných látek.

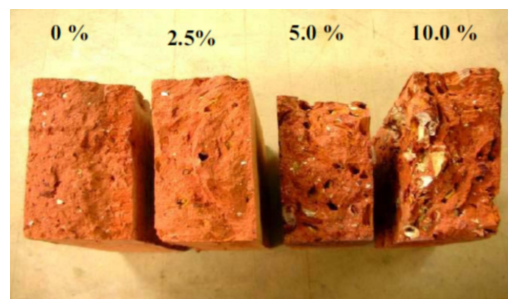
Jedním z možných způsobů recyklace cigaretových nedopalků je jejich využití při výrobě pálených cihel. Cigaretové nedopalky by zde plnily úlohu přímého lehčiva keramického střepu.

Při výzkumu užití cigaretových nedopalků byly použity nedopalky v množství 2,5%, 5% a 10% hmotnosti. Tyto hodnoty odpovídají přibližně 10 až 30% objemu. Objemová hmotnost střepu klesla o 8,3%, 23,9% a 30% při přidání 2,5%, 5% a 10% cigaretových nedopalků. Pevnost v tlaku se snížila o 51%, 79,7% a 89,4% při přidání 2,5%, 5% a 10% cigaretových nedopalků. V důsledku vysoké pórovitosti se projevuje vysoká nasákavost střepu, která je při užití 10% cigaretových nedopalků až 18%. Přidání cigaretových nedopalků výrazně ovlivňuje výslednou tepelnou vodivost keramického střepu. Tepelná vodivost střepu se při přidání 2,5%, 5% a 10% cigaretových nedopalků snížila o 21%, 51% a 58%. Jelikož cigaretové nedopalky obsahují těžké kovy jako arzen, chrom, nikl a kadmium zachycených ve filtrech byla provedena také zkouška na tyto kovy. Při výpalu keramického střepu na 1050°C byla zjištěná koncentrace těchto kovů zanedbatelná.

Vzhledem k uvedeným výsledkům je možné cigaretové nedopalky považovat za velmi zajímavé potencionální lehčivo pro výrobu pálených keramických cihel.



**Obr. 3** Povrch cihel z jednotlivých směsí



**Obr. 4** Průřez cihel z jednotlivých směsí [7]

### **3.2.2. Cementotřískový odpad**

Cementotřískové desky se vyrábějí lisováním směsi dřevěných třísek – 63 % (směs smrkových nebo jedlových třísek), portlandského cementu CEM I 42,5 R – 25 %, vody – 10 % a hydratačních přísad – 2 % (roztok síranu hlinitého  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  a roztok vodního skla sodného  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ), které urychlují hydratační proces při výrobě. Mineralizují použitou dřevní hmotu, zabráňují nadměrnému bobtnání dřeva, zvyšují odolnost proti hoření a zlepšují fyzikálně mechanické vlastnosti desky. Obdobné složení lze očekávat i u použitého odpadu z výroby těchto desek, které neobsahují azbest ani formaldehydy.

Odpad se odsává od pily, která vyřezává z hrubého výlisku desku základního formátu. Delší odřezy (formátování v podélném směru) se upravují již při řezání – listy pily jsou opatřeny stupňovitými roztrískovači, které při řezání současně pás odřezku zpracují do podoby drtě. Kratší odřezy není možno vzhledem k technologickému zařízení upravovat tímto způsobem, proto se odřezy zpracují na menší segmenty v kladivovém mlýnu, odkud se drť přivádí skříňovým podavačem k frakcionačnímu sítu. Hrubá drť větší než 4 mm se vytřídí a zpětně se recykluje ve výrobě desek.

Již pouhý 3,5% přídavek cementotřískového odpadu snížil objemovou hmotnost na hodnotu podstatně nižší než s přídavkem 3 %hm pilin. Je zřejmé, že s rostoucím obsahem cementotřískového odpadu ve střepu se zlepšují tepelně technické vlastnosti střepu. Výrazná lehčící schopnost cementotřískového odpadu je dána mimo obsahu dřevní hmoty také vyšší potřebou rozdělovací vody a přítomností velmi jemně rozptýleného  $\text{CaCO}_3$ , jenž při teplotě okolo 820 °C dekarbonatuje za vzniku výrazné pórovitosti. Pevnost v tahu za ohybu a pevnost v tlaku s rostoucím přídavkem cementotřískového odpadu klesá, a to jak v případě vysušků tak i v případě vypáleného střepu. Cementotřískový odpad snižuje hygroskopickou vlhkost střepu, což přispívá k jeho tepelně-izolačním schopnostem.

[8]



### 3.2.3. Alperujo

Jedná se o vedlejší produkt z lisů při extrakci olivového oleje. Odpadní olivový koláč je tvořen zbytky šťáv oliv a pevnými částmi, které tvoří olivové pecky a slupky oliv, tedy vším co obsahují olivy po odstranění oleje.

Alperujo se v současné době používá jako hnojivo, nebo palivo v elektrárnách, například v Baena (Cordoba) a v Cabra (Cordoba).

Na španělské univerzitě v Jaén, na katedře chemického inženýrství, životního prostředí a materiálového inženýrství se provádí výzkum použití alperuja v cihlářském průmyslu. V provincii se odhaduje roční produkce tohoto odpadu na dva miliony tun. Dávkování alperuja do keramické směsi je až 8%. Přídavek nemá vliv na zpracování keramického těsta. Výhodou přídavku alperuje je však obsah organických látek, který se projeví při výpalu. V důsledku obsažených organických látek v alperuju se snižuje energetická náročnost výpalu. Na výsledném keramickém střepu se alperuju projevuje jako přímé lehčivo. Střepty jsou porézní, lehčí a dosahují lepších tepelně technických vlastností než střepy bez přídavku alperuja. Výsledný střep má také vyšší lesk.



Obr. 5 Cihla s lehčivem alperujo



Obr. 6 Odpad ze zpracování oliv alperujo

[9]

### Shrnutí

V současné době se nejvíce používají dřevěné piliny. Ty se však stávají vyhledávanou surovinou nejen v cihlářství, a z toho důvodu velmi rychle stoupá jejich cena, je tedy nutné hledat alternativní materiál. Vysoký potenciál je u odpadních surovin potravinářského průmyslu, konkrétně zpracování oliv a rýže. Jedná se o suroviny jejich produkce se stále zvyšuje a odpadní materiál nemá žádné využití. Nevýhodou těchto odpadních surovin je vznik v místě pěstování dané plodiny. Další zajímavou alternativu představují cigaretové nedopalky. Tohoto odpadu se vyprodukuje celosvětově obrovské množství a jeho recyklace by byla vítaným přínosem. Velkou výhodou je rovnoměrné pokrytí tohoto odpadu na celém světě a tedy oproti předešlým alternativám zjednoduší a ekonomicky méně náročné začlenění do současné cihlářské výroby.

#### **4. Materiály použitelné jako integrovaná tepelná izolace keramických tvarovek**

Integrovaní tepelné izolace od keramických tvarovek je velmi progresivním směrem vývoje keramických tvarovek s vysokým tepelným odporem. U jednotlivých izolací je požadován především nízký součinitel tepelné vodivosti. Je však nutné uvážit jejich aplikaci do dutin, při které je nutné zajistit jejich dostatečnou soudržnost s tvarovkou a manipulační pevnost izolantu integrovaného do dutin tvarovky. Z tohoto ohledu rozeznáváme dva druhy aplikací, a to vyplňování dutin kusovou izolací, a vyplňování dutin partikulární případně tekutou izolační směsí.

V případě kusových izolantů je nutné, aby byly izolanty alespoň částečně stlačitelné. Nejčastěji se jedná o minerální vlnu, ovčí vlnu, případně pěnový polystyrén. Výhodou tohoto způsobu integrace izolační výplně do tvarovky je relativně nízká pracnost, snadná aplikovatelnost, absence speciálních zařízení pro úpravu a vytvrzování izolantu a absence mokřých procesů. Naopak nevýhodou je nutnost tvorby velkorozměrových dutin, protože kusové izolanty nelze do tenkých dutin v řádu jednotek milimetrů aplikovat.

V případě izolantů v partikulárních a tekutých stavech se jedná o zavhlé směsi plniva a pojiva, pěny a nebo suspenze. Izolanty se po aplikaci zhutní a nechají vyzrát a vytvrdit (PUR nebo PIR pěny). V případě polystyrenu dojde k aplikaci do dutin a následnému expandování zbytkovým teplem vypálené tvarovky. Výhodou této technologie je skutečnost, že je možné vyplňovat i složitější dutiny tvarovek o menších rozměrech. Nevýhodou je naopak vyšší technologická a časová náročnost, nutnost vytvrzení izolantu a často také jeho horší tepelně izolační vlastnosti. Výjimkou je aplikace PIR a PUR pěn, nicméně v těchto případech je problémem jejich vysoká cena, která v konečném důsledku způsobuje enormní zvýšení ceny koncového výrobku.

#### 4.1. Minerální vlna

Minerální vlna, minerální vlákna nebo umělá minerální vlákna jsou vlákna vyrobená z přírodních nebo syntetických minerálů nebo kovových oxidů.

Jednotlivá vlákna samy o sobě vedou teplo velmi dobře, ovšem při vytvoření rolí z těchto vláken se z minerální vlny stává velmi dobrá tepelná izolace. Minerální vlna není náchylná na působení hlodavců, ovšem v případě navlhnutí hrozí riziko bakteriálního růstu.

V současné době je na trhu velké množství výrobců různých druhů minerální vlny. Nejčastější aplikací minerální vlny je vnější zateplení objektů a zateplení střech. Minerální vlna je také nejrozšířenějším materiálem používaným jako integrovaná tepelná izolace. Velkou výhodou při tomto použití je snadná aplikace. Využívá se stlačitelnosti minerální vlny, kdy do vypálené tvarovky dochází k aplikaci stlačené minerální vlny. Po uvolnění vlna pevně drží v dutině tvarovky vlastní rozpínavou silou. Minerální vlna se aplikuje do tvarovek s velkorozměrovými dutinami. Výhodou je eliminace mokrého procesu při aplikaci integrované tepelné izolace.

Minerální vlna dosahuje poměrně nízké hodnoty součinitele tepelné vodivosti  $\lambda$  0,035 - 0,045 W.m<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>. Minerální vlna je díky své struktuře dobře propustná vodním parám, nedochází tedy při její aplikaci k hromadění vlhkosti v konstrukci. Minerální vlna je také velmi dobrá akustická izolace. Minerální vlna je nehořlavý materiál, nehrozí tedy šíření požáru při jakékoliv aplikaci. Nevýhodou minerální vlny je její nasákavost, která výrazně ovlivňuje především tepelně technické vlastnosti. Z důvodu použití malt a lepicích hmot na hydraulické bázi je tedy nutné minerální vlnu hydrofobizovat.

##### Teplotní stálost vláken je:

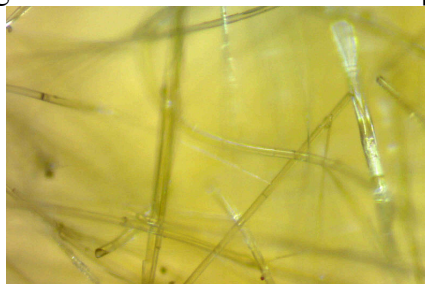
- |                    |               |
|--------------------|---------------|
| • Skleněná vlákna  | 230 - 250 ° C |
| • Kamenná vlákna   | 700 - 850 ° C |
| • Keramická vlákna | 1200 ° C      |

##### Vlastnosti minerální vlny:

Součinitel tepelné vodivosti $\lambda$	0,035 - 0,045 W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup>	
Měrná tepelná kapacita c	840 - 1000 J.kg <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup>	
Objemová hmotnost	20 - 200 kg.m <sup>-3</sup>	[10], [11]



Obr. 7 Izolace z minerální vlny



Obr. 8 Vlákna minerální vlny

#### 4.2. Polystyrénové pěny

Polystyren je aromatický polymer vyrobený z monomeru styrenu, tekutého uhlovodíku. Polystyren je jedním z nejvíce používaných plastů, vyrobí se ho několik miliard kilogramů ročně.

Polystyren je poměrně tvrdý, ale křehký plast, který dobře odolává kyselinám a zásadám. Při stárnutí křehne a vytvářejí se v něm trhliny. Neodolává organickým rozpouštědlům, zejména benzínu, aldehydům a ketonům. Je citlivý vůči UV záření a málo odolný vůči teplotě nad 70°C. Uvolňuje se z něj nezreagovaný monomer styren, který je toxický a karcinogenní.

Rozeznáváme základní druhy polystyrenu. Standardní polystyren (krystalový PS, GPPS) je čirý a křehký. Houževnatý polystyren (HPS, IPS, HIPS) je zpravidla zakalený vlivem přidaného kaučuku. Vyrábí se ve formě granulí nebo pelet, které jsou baleny a expedovány v pytlích po 25 kg. Pěnový polystyren vzniká tepelným zpracováním zpěňovatelného polystyrenu. Zpěňovatelný polystyren (EPS) je vyráběn a dodáván ve formě malých, mléčně zakalených perel nasycených pod tlakem nadouvadlem - lehkým uhlovodíkem.

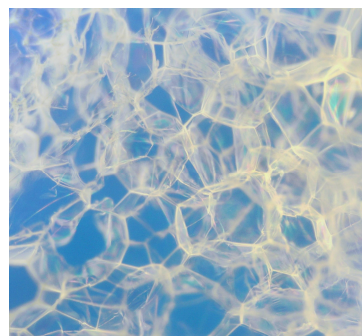
Na trhu se vyskytuje velké množství výrobců EPS použitelného pro stavební praxi jako tepelná izolace. Jedná se o nejrozšířenější izolaci používanou v systému ETICS. Polystyren je také používán jako integrovaná tepelná izolace do keramických tvarovek. Při aplikaci se využívá schopnosti několikanásobně zvětšení objemu při pění. Aplikace je tedy velmi jednoduchá. Do teplé vypálené tvarovky se nasypou volné perly polystyrenu a zbytkovým teple tvarovky dochází k napění polystyrenu. Díky tomuto napění je polystyren pevně fixován v dutinách a není nutný mokrá proces při jeho aplikaci. Polystyren je možné tímto způsobem aplikovat do libovolných dutin tvarovky, není tedy nutné upravovat rozložení žebířů současných tvarovek. Nevýhodou polystyrenu je jeho nepropustnost vodních par, která může přispívat k hromadění vlhkosti v konstrukci.

##### Vlastnosti EPS:

Součinitel tepelné vodivosti $\lambda$	0,033 - 0,043 W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup>	
Měrná tepelná kapacita c	1250 J.kg <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup>	
Objemová hmotnost	16 – 64 kg.m <sup>-3</sup>	[12], [13]



**Obr. 9** Izolace z polystyrénové pěny EPS



**Obr. 10** Struktura polystyrénové pěny

#### 4.3. Perlit

Vulkanický perlit - hornina označovaná též jako přírodní sklo - je rozmělněna a krátkodobě vystavena vysokým teplotám kolem 1000°C. Vázaná voda se tak promění v páru a materiál expanduje na patnácti- až dvacetinásobek svého původního objemu. Pro možnost užití ve vlhkých podmínkách se perlit upravuje do vodoodpudivé formy (hydrofobizace) pomocí silikonové disperze bez rozpouštědel. Perlit pokrytý bitumenem (živicí) je odolný vůči tlaku a zároveň vlhkosti.

Expandovaný perlit je velmi vhodnou látkou pro násypnou izolaci. Perlit upravovaný bitumenem by neměl být z preventivních důvodů používán pro vnitřní prostory. Expandovaný perlit lze použít například jako lehkou výplň pro izolaci nezatěžovaných štěrbin a pro zatěžovanou násypnou izolaci pod mokrou i suchou mazaninou. Nejrozšířenější formu použití představuje násypná výplň k tepelné izolaci podlah. Další možností je jádrová izolace ve dvojvrstevném (sendvičovém) zdivu a izolace mezi střešními krokvemi. Z expandovaného perlitu lze připravovat rovněž tepelně izolační maltu a omítku. Tato omítka je vysoce porézní a vhodná speciálně k omítání staveb z lámaného kamene. Vzhledem k nízké objemové hmotnosti se dnes perlit prodává pod obchodním označením značící objemovou hmotnost daného produktu.

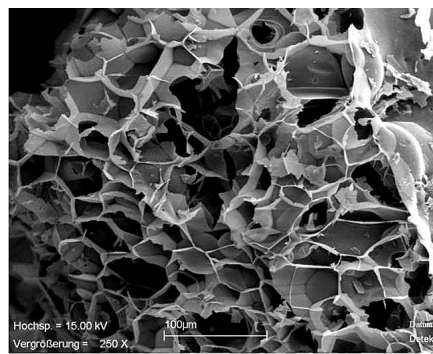
Perlit je možné použít také jako integrovanou tepelnou izolaci. V současné době se aplikuje přímo do keramických bloků při výrobě jako izolant vyrobený z perlitu, nebo se používá perlitový zásyp na dodatečné zásypy první vrstvy zdiva při založení stěn. Perlit je nejdéle používaná integrovaná izolace cihelných bloků. S úspěšným využitím perlitu při této aplikaci přišla firma Schlagmann. Integrovaná tepelná izolace z perlitu se vyznačuje vysokou kapilární vodivostí a nízkým difúzním odporem, nedochází tedy k hromadění vlhkosti ve zdivu. Perlit nepodléhá tlení a je odolný proti hmyzu. Vzhledem ke svému vulkanickému původu je perlit slabě radioaktivní. Naměřené hodnoty jsou však v porovnání s jinými stavebními materiály relativně nízké. Jde o nehořlavý materiál.

##### Vlastnosti expandovaného perlitu:

Součinitel tepelné vodivosti $\lambda$	0,04 - 0,06 W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup>	[14], [15]
Měrná tepelná kapacita $c$	387 J.kg <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup>	
Objemová hmotnost	30 - 150 kg.m <sup>-3</sup>	



Obr. 11 Perlit v jednotlivých skupenstvích



Obr. 12 Struktura expandovaného perlitu



#### 4.4. Ovčí vlna

Ovčí vlna je přírodní izolace. Ovčí vlna se jako tepelná izolace používá především na Novém Zélandu a v německy mluvících zemích, současný podíl na trhu je menší než 0,5%.

Ovčí vlna se pro výrobu izolačních materiálů v současné době používá v německy mluvících zemích a v místech s regionálním výskytem ovčí vlny. Izolace z ovčí vlny se vyrábí formě rohoží. Po prvním ošetření, mytí, odmašťování a neutralizaci pH vlny se vlna jemně promísí a vyčistit od nečistot. Takto upravené vlákna se předou způsobem zvaným mykání. Nově vzniklé tkáně se napříč překrývají a spojují vpichováním. Na požadované rozměry je izolace upravena řezáním. Odřezky jsou recyklovány.

Ovčí vlna je náchylná k útokům molů, je tedy nutné je chránit. Ochrana může být řešena například boritanem sodným, který také působí jako zpomalovač hoření. Účinek boritanu sodného se však s časem vytrácí, tomu lze bránit přírodním kaučukem. V současné době je boritan sodný zařazen mezi toxické látky, je tedy jeho použití nemožné. Jako alternativa boritanu sodného přichází v úvahu sulcofuran, thorlan IW, zirkoniová sůl, nebo deriváty močoviny. Ovčí vlna je velmi pružný materiál. Je velmi náchylná na působení vody, již při obsahu vlhkosti 16% a více téměř ztrácí své tepelně izolační schopnosti.

Ve stavební praxi se používá především na izolace stopu a střeš. Vzhledem k vysoké nasákavosti není příliš vhodná pro vnější zateplení obvodových stěn. Velké uplatnění nachází také jako izolace technických zařízení. Již se také objevily na trhu keramické tvarovky s integrovanou izolací z ovčí vlny. U izolace z ovčí vlny se stejně jako u minerální vlny využívá její stlačitelnosti při plnění integrované izolace. Oproti minerální vlně je výraznou nevýhodou značná nasákavost.

##### Vlastnosti ovčí vlny:

Součinitel tepelné vodivosti $\lambda$	0,038 – 0,042 W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup>	
Měrná tepelná kapacita c	1300 J.kg <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup>	
Objemová hmotnost	20 – 138 kg.m <sup>-3</sup>	[16], [17]



**Obr. 13** Izolace z ovčí vlny



**Obr. 14** Vlákna ovčí vlny

#### 4.5. Tuhá polyuretanová pěna

Polyuretan je polymer, který se vyrábí polyadici diizokyanátů a dvoj - nebo vícesytných alkoholů za vzniku uretanové vazby. Izokyanáty velmi snadno reagují se všemi sloučeninami, které obsahují aktivní vodík například voda, alkoholy, fenoly, thiohy, aminy. Hlavní růstová reakce je proto doprovázena řadou vedlejších reakcí, z nichž některé se cíleně využívají při výrobě určitých typů polyuretanů.

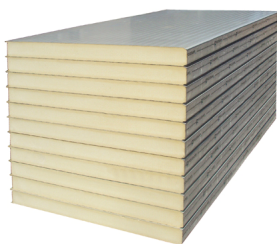
Ve stavební praxi se nejvíce využívá tuhá polyuretanová pěna. Tuhá polyuretanová pěna vzniká chemickou reakcí kapalných surovin s přídavkem nadouvadla. Jako nadouvadla se používá pentan. Tuhá polyuretanová pěna je tvořena z více jak 90% uzavřenými póry. Polyuretan je zdravotně nezávadný, avšak při práci se surovinami, které jsou v tekutém stavu toxické. Po vytvrzení je pěna zcela neškodná. Nedochází k odpařování jakýchkoliv škodlivin. Odpad v podobě tvrdé pěny je využitelný na izolační zásypy, do litých výrobků PUR a podobně. Tuhá polyuretanová pěna se používá jako izolace a izolace v sendvičových prvky. Prvky se skládají z vnitřního a vnějšího plechu, střední prostor je vyplněn tuhým polyuretanové pěny. Většinou se tyto sendvičové panely používají v systémech průmyslových budov.

Široké uplatnění je možné očekávat u použití polyuretanové pěny jako integrované izolace do keramických bloků. Samotná aplikace je možná dvojím způsobem. První snazší cestou je přímé vstřikování polyuretanové pěny do dutin, kde se nechá vytvrdnout. Tato aplikace je výhodná z důvodu dokonalého zaplnění jednotlivých dutin libovolného tvaru a rozměrů. Avšak tato aplikace by nepřiměřeně zvýšila výslednou cenu tvarovky. Z tohoto ohledu se jeví výrazně lépe druhý způsob aplikace polyuretanové pěny.

Jedná se o využití odpadního granulátu vznikajícího při formování výrobků. Tento odpadní materiál zatím nenalezl široké uplatnění ve stavební praxi. Dají se u něho očekávat velmi příznivé tepelné technické vlastnosti obdobné izolaci z polyuretanu. Odpadní granulát je získáván v různých frakcích a může obsahovat i nečistoty spojené s výrobou konkrétních výrobků. Aplikace tohoto granulátu je možná vytvořením vhodné směsi granulátu a pojiva.

##### Vlastnosti tuhé polyuretanové pěny:

Součinitel tepelné vodivosti $\lambda$	0,024 – 0,030 W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup>	[18]
Měrná tepelná kapacita $c$	1200 – 1400 J.kg <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup>	
Objemová hmotnost	30 – 35 kg.m <sup>-3</sup>	



**Obr. 15** Izolační panely z PUR pěny



**Obr. 16** Odpadní granulát z PUR pěny

## 5. Současný sortiment keramických tvarovek s vysokým tepelným odporem

Byl proveden průzkum stavebního trhu v oblasti keramických tvarovek s vysokým tepelným odporem určených pro obvodové zdivo. Výběr byl omezen na tvarovky, které spojují keramickou tvarovku spolu s tepelnou izolací jako jeden celek. Vždy je uvedena pouze produktová řada dosahující nelepších tepelně technických vlastností.

### 5.1. Poretherm T Profi (firma Wienerberger)

Tvarovky kombinují vlastnosti keramické cihly a minerální anorganické izolace (minerální vlna). Zdění probíhá pomocí tenkovrstvé malty označované v praxi jako lepidlo. Aplikace je prováděna pomocí nanášecího válce v 1 mm silné vrstvě.

Vata je v tvarovce držena pomocí samovolného rozpínání, kterého je docíleno při plnění potřebným zmáčknutím. Tato fixace také brání sesedání vlivem gravitace. Vata je hydrofobizována, tedy nenabírá vlhkost, pokud nedojde k přímému ponoření do vody.

[19], [20]

#### POROTHERM 36,5 T Profi

Rozměry d/š/v [mm]

248/365/249

Tepelný odpor zdiva bez omítek  $R_u$  [ $\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$ ]

4,85

Součinitel tepelné vodivosti bez omítek  $\lambda_u$  [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ]

0,075

Součinitel prostupu tepla bez omítek  $U_{\text{ext}}$  [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ ]

0,20



#### POROTHERM 42,5 T Profi

Rozměry d/š/v [mm]

248/425/249

Tepelný odpor zdiva bez omítek  $R_u$  [ $\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$ ]

5,67

Součinitel tepelné vodivosti bez omítek  $\lambda_u$  [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ]

0,075

Součinitel prostupu tepla bez omítek  $U_{\text{ext}}$  [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ ]

0,17



### 5.2. HELUZ FAMILY 2in1 (firma Heluz)

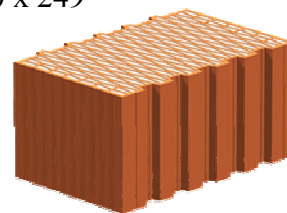
Jedná se o cihly s integrovanou tepelnou izolací. Cihly jsou vyplněny polystyrénem, který je v dutinách pevně fixován. Cihly vznikly z cihel HELUZ FAMILY 50, 44 a 38 které jsou tvořeny až z dvou set oddělených vzduchových dutin. Vyplněním těchto dutin došlo k zvýšení tepelně technických parametrů celé tvarovky o 40%. Styčné spáry jsou tvořeny pomocí systému péro drážka. Na ložné spáry se používá buď celoplošné lepidlo Heluz pro tenké spáry nebo pěna Heluz.

[19], [20]

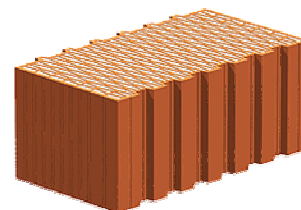


**HELUZ FAMILY 50 2in1**

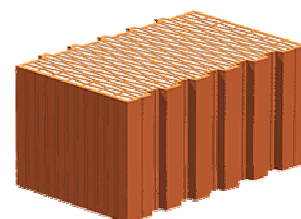
Rozměry d/š/v [mm]	247 x 500 x 249
Tepelný odpor zdiva bez omítek $R_u$ [ $\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$ ]	8,64
Součinitel tepelné vodivosti bez omítek $\lambda_u$ [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ]	0,058
Součinitel prostupu tepla bez omítek $U_{\text{ext}}$ [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ ]	0,11

**HELUZ FAMILY 44 2in1**

Rozměry d/š/v [mm]	247 x 440 x 249
Tepelný odpor zdiva bez omítek $R_u$ [ $\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$ ]	7,20
Součinitel tepelné vodivosti bez omítek $\lambda_u$ [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ]	0,061
Součinitel prostupu tepla bez omítek $U_{\text{ext}}$ [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ ]	0,14

**HELUZ FAMILY 38 2in1**

Rozměry d/š/v [mm]	247 x 380 x 249
Tepelný odpor zdiva bez omítek $R_u$ [ $\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$ ]	5,76
Součinitel tepelné vodivosti bez omítek $\lambda_u$ [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ]	0,066
Součinitel prostupu tepla bez omítek $U_{\text{ext}}$ [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ ]	0,17

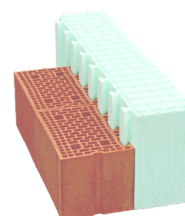
**5.3. EcoPex (firmy PEXIDER)**

Jedná se o systém rakouské firmy PEXIDER. Systém je tvořen ze dvou oddělených složek, z keramické tvarovky vyráběné v klasickém a broušeném provedení. V případě broušené tvarovky je pro spojení v ložné spáře použita pěna DriFix. V případě nebroušené tvarovky je použito celoplošného lepidla. Styčná spára je vždy řešena pomocí péra a drážky. Ke keramické tvarovce je pomocí rybinového spoje připojena tepelná izolace z extrudovaného polystyrenu. Izolace je dodávána v síle 200 mm a 250mm. Výrobce uvádí stejné tepelné technické hodnoty při užití lepidla i pěny DriFix.

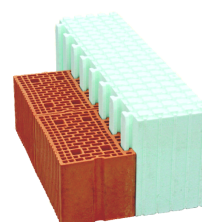
[19], [20]

**EcoPex 25x37,5x24,9 + EPS-F-Spezial-Dämmstein 20x100x35**

Tepelný odpor zdiva bez omítek $R_u$ [ $\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$ ]	6,19
Součinitel tepelné vodivosti bez omítek $\lambda_u$ [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ]	0,073
Součinitel prostupu tepla bez omítek $U_{\text{ext}}$ [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ ]	0,16

**EcoPex 25x37,5x24,9 + EPS-F-Spezial-Dämmstein 25x100x35**

Tepelný odpor zdiva bez omítek $R_u$ [ $\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$ ]	7,32
Součinitel tepelné vodivosti bez omítek $\lambda_u$ [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ]	0,068
Součinitel prostupu tepla bez omítek $U_{\text{ext}}$ [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ ]	0,13



#### 5.4. POROTON T (firma Schlagmann)

Schlagmann je německý výrobce s více jak desetiletou zkušeností s cihelnými bloky s integrovanou tepelnou izolací. Jako tepelná izolace je použita přírodní sopečná hornina perlit. Styčné spáry jsou provedeny pomocí spojení péra a drážky. Ložné spáry se provádí na tenkovrstvé celoplošné lepidlo, případně v oblasti Tyrolska je k dispozici pěna POROTON®-DRYFIX® která se nanáší ve dvou či čtyřech řadách.

[19], [20]

##### POROTON®-T7®-365

Rozměry d/š/v [mm]

248 x 365 x 249

Tepelný odpor zdiva bez omítek  $R_u$  [ $\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$ ]

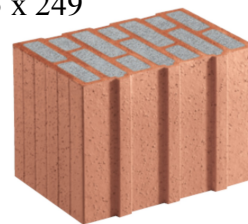
5,56

Součinitel tepelné vodivosti bez omítek  $\lambda_u$  [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ]

0,07

Součinitel prostupu tepla bez omítek  $U_{\text{ext}}$  [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ ]

0,18



##### POROTON®-T7®-425

Rozměry d/š/v [mm]

248 x 425 x 249

Tepelný odpor zdiva bez omítek  $R_u$  [ $\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$ ]

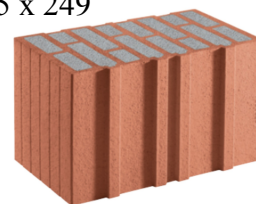
6,25

Součinitel tepelné vodivosti bez omítek  $\lambda_u$  [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ]

0,07

Součinitel prostupu tepla bez omítek  $U_{\text{ext}}$  [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ ]

0,16



##### POROTON®-T7®-490

Rozměry d/š/v [mm]

248 x 490 x 249

Tepelný odpor zdiva bez omítek  $R_u$  [ $\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$ ]

7,14

Součinitel tepelné vodivosti bez omítek  $\lambda_u$  [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ]

0,07

Součinitel prostupu tepla bez omítek  $U_{\text{ext}}$  [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ ]

0,14



#### 5.5. UNIPOR CORISO (firma UNIPOR)

Jedná se o německého výrobce cihelných bloků. Cihelné bloky mají specifické děrování, které tvoří dvě řady trojúhelníků a řada úzkých obdélníků. Veškeré dutiny jsou vyplněny izolací z ovčí vlny. Styčné spáry se provádí pomocí péra a zámku, ložné spáry jsou provedeny se provádí pomocí tenkovrstvé celoplošného lepidla.

[19], [20]

##### UNIPOR W07 CORISO

Rozměry d/š/v [mm]

247 x 490 x 249

Tepelný odpor zdiva bez omítek  $R_u$  [ $\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$ ]

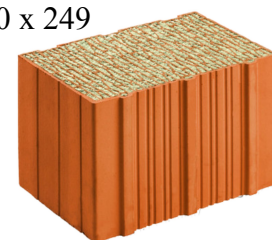
7,14

Součinitel tepelné vodivosti bez omítek  $\lambda_u$  [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ]

0,07

Součinitel prostupu tepla bez omítek  $U_{\text{ext}}$  [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ ]

0,14



### 5.6. ThermoPlan® (firma JUWÖ)

Juwö je německý výrobce pálených zdících bloků. Děrování cihel je tvořeno velkými obdélníkovými otvory, které jsou vyplněny minerální vlnou. Styčné spáry se provádí pomocí péra a zámku, ložné spáry se provádí pomocí tenkovrstvé celoplošného lepidla.

[19], [20]

#### Thermoplan® MZ 365/7

Rozměry d/š/v [mm]

248 x 365 x 249

Tepelný odpor zdiva bez omítek  $R_u$  [ $\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$ ]

5,56

Součinitel tepelné vodivosti bez omítek  $\lambda_u$  [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ]

0,07

Součinitel prostupu tepla bez omítek  $U_{\text{ext}}$  [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ ]

0,18



#### Thermoplan® MZ 425/7

Rozměry d/š/v [mm]

248 x 425 x 249

Tepelný odpor zdiva bez omítek  $R_u$  [ $\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$ ]

6,25

Součinitel tepelné vodivosti bez omítek  $\lambda_u$  [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ]

0,07

Součinitel prostupu tepla bez omítek  $U_{\text{ext}}$  [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ ]

0,16



#### Thermoplan® MZ 490/7

Rozměry d/š/v [mm]

248 x 490 x 249

Tepelný odpor zdiva bez omítek  $R_u$  [ $\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$ ]

7,14

Součinitel tepelné vodivosti bez omítek  $\lambda_u$  [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ]

0,07

Součinitel prostupu tepla bez omítek  $U_{\text{ext}}$  [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ ]

0,14



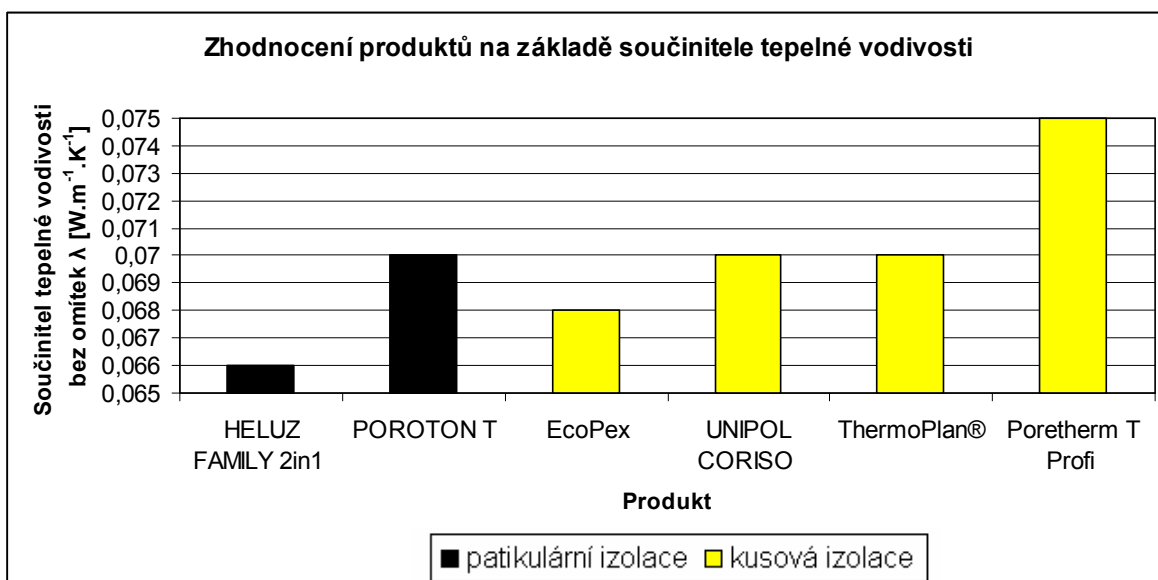
### Zhodnocení sortimentu keramických tvarovek s vysokým tepelným odporem

Jednotlivý výrobci se vydali dvěma základními směry vývoje nových tvarovek. První možností je využití již vyráběných tvarovek za vyplnění poměrně drobných dutin dodatečnou tepelnou izolací. Tato technologie je výrazně omezena použitelnou izolací. Druhou, rozšířenější, technologií výroby je vytvoření zcela nové, specifické tvarovky. Tvarovka má výrazně méně dutin, ty jsou však subtilnější. Taktéž střep mezi těmito žebry je výrazně silnější. Tyto tvarovky jsou vhodné pro veškeré druhy tepelné izolace. Z tohoto ohledu jsou tedy perspektivnější pro budoucí využití. Zajímavou cestou s vydal rakouský výrobce PEDIXER, který vytvořil systém s dodatečnou tepelnou izolací z XPS bez nutnosti dodatečného kotvení tepelné izolace.

Na českém trhu jsou tyto tvarovky s integrovanou tepelnou izolací novinkou posledního roku. Nabízí je firma Wieneberger a Heluz. Na evropském trhu se tvarovky vyskytují déle, ovšem i zde se jedná o produkty posledních 10 let. Největší zastoupení zde mají německé firmy, v Německu již stojí několik desítek staveb s užitím těchto tvarovek. Především firma Schlagman má již několikaletou zkušenost s použitím integrované tepelné izolace do keramických tvarovek. Z dlouhodobého hlediska však nelze hodnotit případná negativa s použitím těchto tvarovek. Obecným pozitivem je značné zlepšení tepelných vlastností tvarovek/obvodového zdiva.

Současné nabízené tvarovky výrazně převyšují požadované i doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla. Při tloušťce zdiva 490/500mm se součinitel prostupu tepla pohybuje v rozmezí  $0,11 - 0,14 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$ . Tepelně izolační vlastnosti jednotlivých tvarovek je možné nejlépe porovnat na základě ekvivalentní hodnoty součinitele tepelné vodivosti. Celkově nižších hodnot součinitele tepelné vodivosti dosahují tvarovky s partikulární integrovanou izolací. Konkrétně nejnižšího součinitele tepelné vodivosti dosahují tvarovky od firmy Heluz plněné polystyrenem, součinitel tepelné vodivosti se v tomto případě pohybuje dle tloušťky tvarovky v rozmezí  $0,058 - 0,066 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ . druhou firmou používající partikulární izolaci je Schlaghmann, která při použití perlitu dosáhla součinitele tepelné vodivosti  $0,07 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ . Při použití kusové integrované izolace, ať již se jedná o minerální či ovčí vlnu, dosahují téměř všichni výrobci shodného součinitele tepelné vodivosti a to  $0,07 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ .

**Graf 1** Zhodnocení produktů na základě součinitele tepelné vodivosti



## C. Praktická část

### 1. Cíl práce

Práce se věnuje výběru vhodných izolačních materiálů pro výplň tepelně izolačních keramických bloků pro zdění. Hlavní důraz bude kladen na optimalizaci výsledných vlastností keramických zdících tvarovek, především z pohledu jejich tepelně technických vlastností a vymezení jejich možného uplatnění ve stavební praxi.

### 2. Popis praktické části

Praktická část byla řešena pouze s jednou zvolenou integrovanou izolací. Přehled použitelných izolačních materiálů je uveden v následující tabulce.

**Tab. 1** Přehled jednotlivých izolací použitelných jako integrovaná tepelná izolace keramických tvarovek

<b>Materiál</b>	<b>Součinitel tepelné vodivosti <math>\lambda</math> [W.m<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>]</b>	<b>Měrná tepelná kapacita <math>c</math> [J.kg<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>]</b>	<b>Objemová hmotnost [kg.m<sup>-3</sup>]</b>
Minerální vlna	0,035 - 0,045	840 - 1000	20 - 200
Polystyrénové pěny, EPS	0,033 - 0,043	1250	16 – 64
Perlit	0,040 - 0,060	387	30 - 150
Ovčí vlna	0,038 - 0,042	1300	20 – 138
PUR pěna	0,024 - 0,030	1200 – 1400	30 – 35

Na základě uvedených vlastností, především hodnoty součinitele tepelné vodivosti, jednotlivých materiálů použitelných pro integrovanou izolaci do keramických tvarovek byla pro další zkoušení vybrána PUR pěna. Po vlastní zkoušení bylo použito odpadního PUR granulátu vznikajícího při výrobě izolačních panelů z PUR pěny. U tohoto materiálu byly očekávány obdobné tepelně technické materiály jako u PUR pěny. Odpadní PUR granulát byl dodán formou Izomalt

Integrovaná tepelná izolace byla vytvořena směsí odpadního PUR granulátu a cementu. Cement byl zvolen jako základní, nejběžnější pojivo a také z důvodu cenové dostupnosti. V rámci vlastního měření byly sledovány základní vlastnosti izolačních materiálů na bázi PUR granulát, tepelně technické a mechanické vlastnosti v čerstvém i zatvrdlém stavu jednotlivých směsí.

Nakonec byl se zvolenou integrovanou tepelnou izolací proveden výpočet výsledné tvarovky. Vzhledem ke zvolené integrované izolaci, její případné aplikaci, byla pro výpočet volena tvarovka s menším počtem subtilnějších dutin.

### 3. Metodika práce

Praktická část byla rozdělena do několika základních kroků:

- Makroskopický rozbor PUR granulátů
- Stanovení základních vlastností různých frakcí PUR granulátu (granulometrie, sypná hmotnost, součinitel tepelné vodivosti),
- Stanovení vlastností průmyslově vyráběné PUR izolační směsi (objemová hmotnost v čerstvém a zatvrdlém stavu, součinitel tepelné vodivosti, pevnost v tahu za ohybu a pevnost v tlaku),
- Stanovení vlastností navržené PUR – cementové směsi (objemová hmotnost v čerstvém a zatvrdlém stavu, součinitel tepelné vodivosti, pevnost v tahu za ohybu a pevnost v tlaku),
- Výpočet tepelně izolačních vlastností keramické tvarovky s integrovanou izolací (navržená směs z PUR granulátu).

Jednotlivé složky byly dávkovány samostatně. Nejdříve byly dávkovány suché složky následně záměsová voda. Z těchto směsí byly vytvořeny požadované zkušební vzorky. Míchání se provádělo v míchačce cca 5 minut do vytvoření kompaktní a homogenní směsi.

Ze zkušebních záměsí byly připraveny zkušební vzorky tvaru kvádra 160x40x40 mm pro stanovení fyzikálních a mechanických vlastností. Krychle o hraně 100 mm pro stanovení napětí při 10% deformaci (pevnosti v tlaku) a desky o rozměrech 300x300x60 mm pro stanovení součinitele tepelné vodivosti.

Stanovení tepelněizolačních a mechanických vlastností bylo provedeno v čase 28 dní od přípravy zkušebních vzorků. Stanovení součinitele tepelné vodivosti bylo provedeno na vzorcích po vysušení při teplotě +75 °C do konstantní hmotnosti.

**Jednotlivá provedená měření a stanovení vlastností:**

Vzhledem ke specifickému charakteru zkoušeného materiálu (PUR-cementová směs) byly mechanické vlastnosti stanovovány na základě norem pro zkoušení malt (ČSN EN 1015) a norem pro zkoušení tepelně izolačních materiálů (ČSN EN 826 a ČSN EN 1602).

U průmyslově vyráběné směsi byla pevnost v tlaku stanovena dle ČSN EN 1015-11 Zkušební metody malt pro zdivo - Část 11: Stanovení pevnosti zatvrdlých malt v tahu za ohybu a v tlak, při stanovování pevnosti v tlaku u navržené směsi dle tohoto zkušebního postupu došlo k nepřipustným deformacím. Z toho důvodu bylo stanoveno napětí při 10% deformaci dle ČSN EN 826 Tepelněizolační výrobky pro použití ve stavebnictví - Zkouška tlakem

**PUR granulát**

- stanovení zrnitosti dle ČSN EN 933-1 Zkoušení geometrických vlastností kameniva - Část 1: Stanovení zrnitosti - Sítový rozbor.
- stanovení sypané hmotnosti dle ČSN EN 1097-3 Zkoušení mechanických a fyzikálních vlastností kameniva - Část 3: Stanovení sypané hmotnosti a mezerovitosti volně sypaného kameniva.
- stanovení součinitele tepelné vodivosti dle ČSN 72 7012-3 Stanovení součinitele tepelné vodivosti materiálů v ustáleném tepelném stavu. Metoda desky. Část 3: Metoda měřidla tepelného toku.

**Čerstvý stav**

- stanovení objemové hmotnosti dle ČSN EN 1015-6 Zkušební metody malt pro zdivo - Část 6: Stanovení objemové hmotnosti čerstvé malty.

**Zatvrdlý stav**

- stanovení objemové hmotnosti dle ČSN EN 1602 Tepelněizolační výrobky pro použití ve stavebnictví - Stanovení objemové hmotnosti.
- stanovení součinitele tepelné vodivosti dle ČSN 72 7012 Stanovení součinitele tepelné vodivosti materiálů v ustáleném tepelném stavu. Metoda desky. Část 3: Metoda měřidla tepelného toku.
- stanovení pevnosti v tahu za ohybu dle ČSN EN 1015-11 Zkušební metody malt pro zdivo - Část 11: Stanovení pevnosti zatvrdlých malt v tahu za ohybu a v tlak.
- stanovení pevnosti v tlaku dle ČSN EN 1015-11 Zkušební metody malt pro zdivo - Část 11: Stanovení pevnosti zatvrdlých malt v tahu za ohybu a v tlak.
- stanovení napětí při 10% deformaci dle ČSN EN 826 Tepelněizolační výrobky pro použití ve stavebnictví - Zkouška tlakem.

## 4. Popis provedených zkoušek

### 4.1. Stanovení zrnitosti

Stanovení síťového rozboru bylo provedeno dle ČSN EN 933-1 Zkoušení geometrických vlastností kameniva - Část 1: Stanovení zrnitosti - Síťový rozbor. Pro síťový rozbor byla použita zkušebních síta: 8; 4; 2; 1; 0,5; 0,25; 0,2; 0,125; 0,09 a 0,063 mm. Měření bylo provedeno na každém vzorku celkem 3x, přičemž vždy byl odebrán vzorek pro síťový rozbor o celkové hmotnosti 100g. Výsledky jsou vždy aritmetickým průměrem ze tří měření.

[21]

### 4.2. Stanovení součinitele tepelné vodivosti

Stanovení součinitele tepelné vodivosti bylo provedeno v souladu s ČSN 72 7012-3 na přístroji Lambda 2300 firmy Holometrix, jehož princip je založen na stacionární metodě desky. Stanovení součinitele tepelné vodivosti bylo provedeno v ustáleném stavu při střední teplotě 10°C a teplotním spádu 10K. Měření bylo provedeno vždy na třech zkušebních vzorcích (na každém vzorku bylo provedeno stanovení součinitele tepelné vodivosti celkem v 5 po sobě jdoucích intervalech), které byly vysušeny při teplotě +75°C do konstantní hmotnosti. Uváděný konečný výsledek je aritmetickým průměrem z těchto tří měření.

[22]

### 4.3. Stanovení sypné hmotnosti

Stanovení sypné hmotnosti bylo provedeno dle ČSN EN 1097-3 Zkoušení mechanických a fyzikálních vlastností kameniva - Část 3: Stanovení sypné hmotnosti a mezerovitosti volně sypaného kameniva. Sypná hmotnost byla stanovena na zkušebních vzorcích o objemu 1l odebraných z dodaných zkušebních vzorků dle požadavků ČSN EN 1097-3. Měření bylo provedeno u každého zkušební vzorku 3x, přičemž výsledná hodnota je aritmetickým průměrem těchto tří měření. Sypná hmotnost  $\rho_s$  [kg.m<sup>-3</sup>] byla stanovena jako podíl hmotnosti zkušebních vzorků a jejich objemu:

$$\rho_s = \frac{m'}{V_v}$$

$m'$  – hmotnost zkušební vzorku [kg],  
 $V_v$  – objem zkušební válce [m<sup>3</sup>].

[23]



#### 4.4. Stanovení objemové hmotnosti v čerstvém stavu

Stanovení objemové hmotnosti v čerstvém stavu bylo provedeno v souladu s ČSN EN 1015-6 Zkušební metody malt pro zdivo - Část 6: Stanovení objemové hmotnosti čerstvé malty. Objemová hmotnost čerstvé směsi byla stanovena jako poměr hmotnosti směsi a objemu nádoby, do které je vložena.

Měřicí nádoba se naplnila do poloviny a zvedla se do výšky cca 30 mm a pustila. Toto se 10krát opakovalo. Poté se nádoba naplnila celá a postup hutnění se opakoval. Přebytečná omítka se špachtlí odstranila a nádoba se očistila. Objemové hmotnost čerstvé směsi  $\rho$  [ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ] byla stanovena jako:

$$\rho = \frac{m_2 - m_1}{V_V}$$

$V_V$  - objemová nádoby [ $\text{m}^3$ ]

$m_1$  - hmotnost měřicí nádoby [kg]

$m_2$  - hmotnost měřicí nádoby naplněné směsí [kg], [24]

#### 4.5. Pevnost v tahu za ohybu

Stanovení pevnosti v tahu za ohybu bylo provedeno v souladu s ČSN EN 1015-11 Zkušební metody malt pro zdivo - Část 11: Stanovení pevnosti zatvrdlých malt v tahu za ohybu a v tlaku. Pevnost stanovujeme na zkušebním zařízení, stávajícího se ze dvou podpěrných válců a třetího válce umístěného uprostřed mezi oběma válcovými podpěrami. Zkušební těleso má tvar trámce či trámečku. Zatěžování se provádí bez rázů rovnoměrnou rychlostí do poručení. Pevnost v tahu za ohybu se vypočítá dle vztahu:

$$f = 1,5 \cdot \frac{F \cdot l}{b \cdot d^2}$$

$F$  – síla působící na těleso [N]

$l$  – vzdálenost podpor [mm]

$b$  – šířka vzorku [mm]

$d$  – výška vzorku [mm]

[26]

#### **4.6. Stanovení objemové hmotnosti v zatvrdlém stavu**

Stanovení objemové hmotnosti v zatvrdlém stavu bylo provedeno v souladu s ČSN EN 1602 Tepelněizolační výrobky pro použití ve stavebnictví - Stanovení objemové hmotnosti.

Objemová hmotnost suchého zatvrdlého vzorku byla stanovena jako poměr hmotnosti ve vysušeném stavu a objemu, který vzorek zaujímal. Zkušební vzorek byl kondicionován při teplotě  $(23 \pm 2^\circ\text{C})$ . Objemová hmotnost suché zatvrdlé směsi  $\rho$  [ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ] byla stanovena jako:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

m - hmotnost zkušební vzorku vysušeného v sušárně [kg]

V - objem zkušební vzorku [ $\text{m}^3$ ]

[25]

#### **4.7. Pevnost v tlaku**

Stanovení pevnosti v tlaku bylo provedeno v souladu s ČSN EN 1015-11 Zkušební metody malt pro zdivo Část 11: Stanovení pevnosti zatvrdlých malt v tahu za ohybu a v tlaku. Pevnost v tlaku se zkouší na zlomcích po zkoušce pevnosti v tahu za ohybu. Těleso se umístí mezi úložné destičky, přípravek a zkušební těleso se umístí do zkušební stroje. Zatěžování se provádí bez rázů rovnoměrnou rychlostí do porušení. Pevnost v tlaku se vypočítá dle vztahu:

$$f_c = \frac{F_c}{A_c}$$

$F_c$  – síla působící na těleso [N]

$A_c$  – plocha na kterou působí síla [ $\text{mm}^2$ ]

[26]

#### **4.8. Pevnost v tlaku tepelně izolačních výrobků**

Stanovení napětí při 10% deformaci bylo provedeno v souladu s ČSN EN 826 Tepelněizolační výrobky pro použití ve stavebnictví - Zkouška tlakem. Tlaková síla působí danou rychlostí kolmo na rovnoběžné plochy pravoúhlého zkušební vzorku. Stanoví se maximální tlaková síla přenesená zkušebním vzorkem. Pokud hodnota maximální síly odpovídá deformaci menší než 10 %, je označována jako pevnost v tlaku a udává se příslušná deformace. Není – li zjištěno porušení před dosažením 10 % deformace, vypočítá se napětí v tlaku při 10 % deformaci a jeho hodnota se uvede jako napětí v tlaku při 10 % deformaci.

Zkušební stroj je zatěžovací stroj s požadovaným rozsahem měření síly a přetvoření. Zřízení pro měření přetvoření je zabudované do zatěžovacího stroje a umožňuje průběžné měření posunutí pohyblivých desek. Snímač pro měření síly, která je reakcí zkušební vzorku proti působení zatěžovací síly je připevněn na jedné z desek zatěžovacího stroje.

### **Pevnost v tlaku**

$$\sigma_m = 10^3 \cdot \frac{F_m}{A_0}$$

$F_m$  – největší síla [N]

$A_0$  – počáteční průřez zkušební vzorku [mm<sup>2</sup>]

### **Poměrné stlačení**

$$\varepsilon_m = \frac{X_m}{d_0} \cdot 100$$

$X_m$  – přetvoření deformace při maximální síle [mm]

$d_0$  – počáteční tloušťka zkušební vzorku [mm]

### **Napětí při 10 % deformaci**

$$\sigma_{10} = 10^3 \cdot \frac{F_{10}}{A_0}$$

$F_{10}$  – síla odpovídající 10 % poměrnému stlačení [N]

$A_0$  – počáteční průřez zkušební vzorku [mm<sup>2</sup>]

[27]

## **5. Receptury**

### **5.1. Průmyslově vyráběná směs**

Nejprve byla zkoušena průmyslově vyráběná směs dodaná firmou Izomalt. Jednotlivé složky byly voleny formou Izomalt. Jednalo se o:

- portlandský cement CEM I 52,5R z výroby Mokrá (Českomoravský cement a.s.)
- odpadní PUR granulát frakce 0-8

**Receptura průmyslově vyráběné směsi**

Směs: 60% cement 52,5 + 40% polyuretan frakce 0-8 mm

$m_s = 3,55 \text{ kg}$

$m_v = 5,55 \text{ kg}$

$$w = \frac{m_v}{m_c} = \frac{5,55}{2,13} = 2,61$$

Na směsi byla v čerstvém stavu stanovena objemová hmotnost. V zatvrdlém stavu byla stanovena objemová hmotnost, pevnost v tlaku, pevnost v tahu za ohybu a součinitel tepelné vodivosti.

**5.2. Navržená receptura**

Na základě výsledků průmyslově vyráběné směsi byla navržena nová receptura za účelem zlepšení tepelně technických vlastností s využitím dodaných granulátů PUR pěny firmy Izomalt. Byly použity tyto složky:

- portlandský cement CEM I 42,5R z výroby Mokrý (Českomoravský cement a.s.)
- odpadní PUR granulát frakce 3-5

Při přípravě směsi byla zjištěna vysoká nasákavost odpadního PUR granulátu, které výrazně ovlivňuje množství použité záměsové vody.

**Nasákavost**

Hmotnost suchého PUR 3-5	13g
Hmotnost nasáklého PUR 3-5	67g
Nasákavost	<b>415%</b>

**Navržená receptura**

PUR 3 – 5	30 %	0,9 kg
CEM I 42,5	70 %	2,1 kg
Voda		3,5 kg

$$w = \frac{m_v}{m_c} = \frac{3,5}{2,1} = 1,67$$

Na navržené receptuře byla v čerstvém stavu stanovena objemová hmotnost. V zatvrdlém stavu byla stanovena objemová hmotnost, pevnost v tahu za ohybu, napětí při 10% deformaci a součinitel tepelné vodivosti.

## 6. Výsledky měření

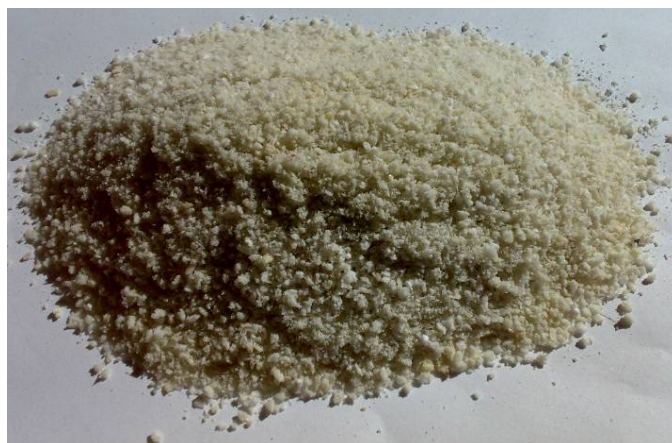
### 6.1. Makroskopický rozbor PUR granulátu

Makroskopický rozbor byl stanovován na následujících třech vzorcích:

- PUR 140
- PUR 0-3
- PUR 3-5



Obr. 17 Směs granulátu PUR 140



Obr. 18 Směs granulátu PUR 0-3



Obr. 19 Směs granulátu PUR 3-5

### 6.1.1. Sítový rozbor

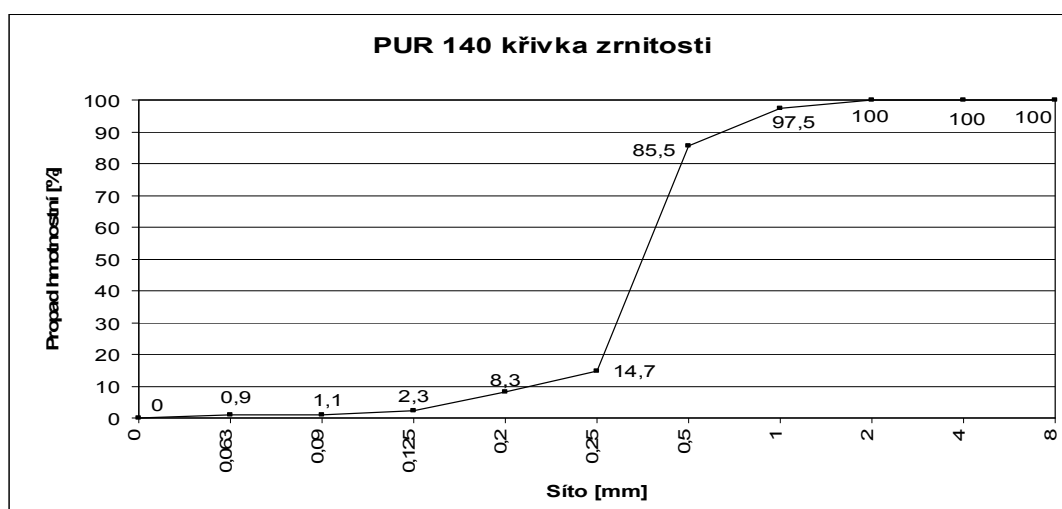
Sítový rozbor byl proveden dle ČSN EN 933-1 Zkoušení geometrických vlastností kameniva - Část 1: Stanovení zrnitosti - Sítový rozbor.

Hmotnost vzorku byla vždy 100g.

**Tab. 2** Přehled propadů a zůstatků na sítích při sítovém rozboru PUR 140

Síto [mm]	Zůstatek [g]	Propad [g]	Propad [%]
8	0,0	100,0	<b>100,0</b>
4	0,0	100,0	<b>100,0</b>
2	0,0	100,0	<b>100,0</b>
1	2,5	97,4	<b>97,5</b>
0,5	11,9	85,5	<b>85,5</b>
0,25	70,8	14,7	<b>14,7</b>
0,2	6,4	8,3	<b>8,3</b>
0,125	6,0	2,3	<b>2,3</b>
0,09	1,2	1,1	<b>1,1</b>
0,063	0,2	0,9	<b>0,9</b>
0	0,9	0,0	<b>0,0</b>

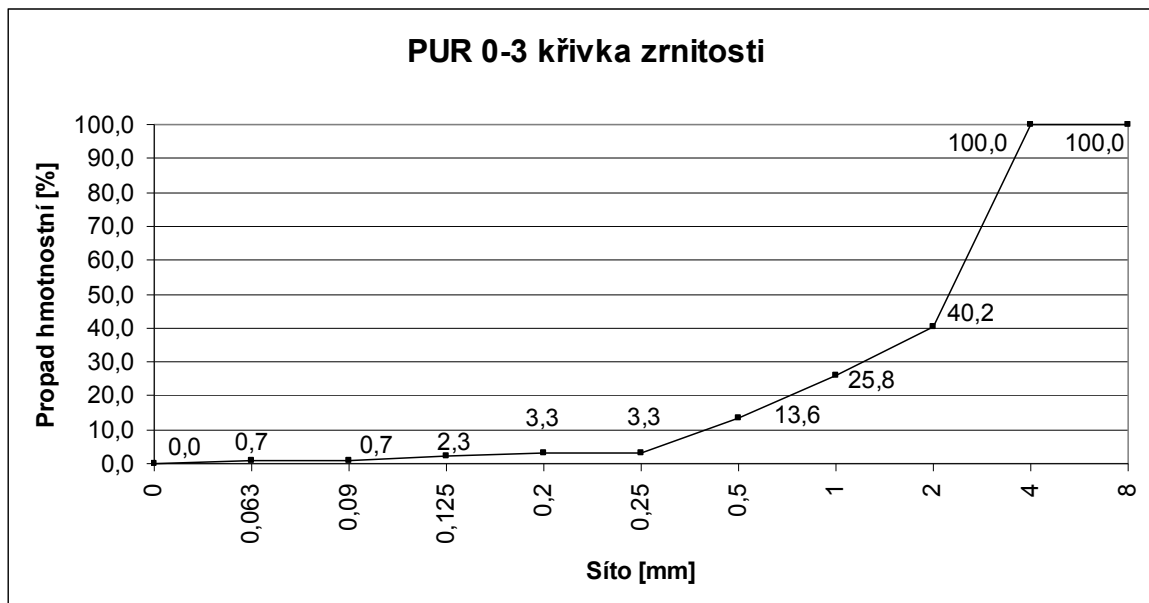
**Graf 2** Křivka zrnitosti PUR 140



**Tab. 3** Přehled propadů a zůstatků na sítích při sítovém rozboru PUR 0-3

Síto [mm]	Zůstatek [g]	Propad [g]	Propad [%]
8	0,0	100,0	<b>100,0</b>
4	0,0	100,0	<b>100,0</b>
2	59,8	40,2	<b>40,2</b>
1	14,4	25,8	<b>25,8</b>
0,5	12,2	13,6	<b>13,6</b>
0,25	10,3	3,3	<b>3,3</b>
0,2	-	3,3	<b>3,3</b>
0,125	1,0	2,3	<b>2,3</b>
0,09	1,6	0,7	<b>0,7</b>
0,063	-	0,7	<b>0,7</b>
0	0,7	0,0	<b>0,0</b>

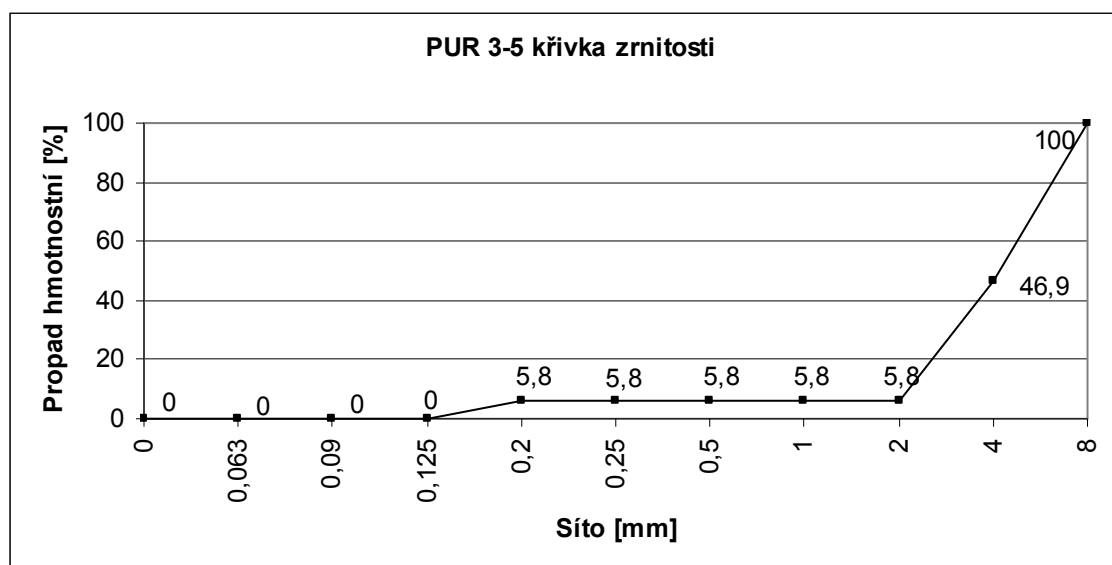
Graf 3 Křivka zrnitosti PUR 0-3



Tab. 4 Přehled propadů a zůstatků na sítích při síťovém rozboru PUR 3-5

Síto [mm]	Zůstatek [g]	Propad [g]	Propad [%]
8	0,0	100,0	100,0
4	53,1	46,9	46,9
2	41,1	5,8	5,8
1	-	5,8	5,8
0,5	-	5,8	5,8
0,25	-	5,8	5,8
0,2	-	5,8	5,8
0,125	5,8	0,0	0,0
0,09	-	0,0	0,0
0,063	-	0,0	0,0
0	-	0,0	0,0

Graf 4 Křivka zrnitosti PUR 3-5



## 6.2. Stanovení základní vlastnosti PUR granulátu

### 6.2.1. Sypná hmotnost

Sypná hmotnost byla stanovena dle ČSN EN 1097-3 Zkoušení mechanických a fyzikálních vlastností kameniva - Část 3: Stanovení sypné hmotnosti a mezerovitosti volně sypaného kameniva.

Sypná hmotnost byla stanovena v odměrném válci o objemu 1 m<sup>3</sup>.

**Tab. 5** Stanovení sypné hmotnosti PUR 140

Vzorek	m' [kg]	V [m <sup>3</sup> ]	ρ <sub>s</sub> [kg.m <sup>-3</sup> ]
1 - a	0,1615	0,001	161,5
1 - b	0,1541	0,001	154,1
1 - c	0,1596	0,001	159,6
Průměr	<b>0,1584</b>	<b>0,001</b>	<b>158,4</b>

Sypná hmotnost PUR 140 je rovna  $\rho_s = \underline{158 \text{ kg.m}^{-3}}$

**Tab. 6** Stanovení sypné hmotnosti PUR 0-3

Vzorek	m' [kg]	V [m <sup>3</sup> ]	ρ <sub>s</sub> [kg.m <sup>-3</sup> ]
2 - a	0,0541	0,001	54,1
2 - b	0,0602	0,001	60,2
2 - c	0,0574	0,001	57,4
Průměr	<b>0,0572</b>	<b>0,001</b>	<b>57,2</b>

Sypná hmotnost PUR 0-3 je rovna  $\rho_s = \underline{57,2 \text{ kg.m}^{-3}}$

**Tab. 7** Stanovení sypné hmotnosti PUR 3-5

Vzorek	m' [kg]	V [m <sup>3</sup> ]	ρ <sub>s</sub> [kg.m <sup>-3</sup> ]
3 - a	0,0411	0,001	41,1
3 - b	0,0404	0,001	40,4
3 - c	0,0391	0,001	39,1
Průměr	<b>0,0402</b>	<b>0,001</b>	<b>40,2</b>

Sypná hmotnost PUR 3-5 je rovna  $\rho_s = \underline{40,2 \text{ kg.m}^{-3}}$

### 6.2.2. Součinitel tepelné vodivosti

Součinitel tepelné vodivosti byl stanoven dle ČSN 72 7012 Stanovení součinitele tepelné vodivosti materiálů v ustáleném tepelném stavu. Metoda desky. Část 3: Metoda měřidla tepelného toku.

Zkušební vzorky byly připraveny volným sypaním do dřevěného rámečku o rozměrech 295 x 295 mm a výšce 48 mm.



Tab. 8 Stanovení součinitele tepelné vodivosti PUR 140

Vzorek	m [kg]	V [m <sup>3</sup> ]	$\rho_s$ [kg.m <sup>-3</sup> ]	$\lambda_{10}$ [W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> ]					
				Měření 1	Měření 2	Měření 3	Měření 4	Měření 5	Průměr
1 - a	0,6458	0,004065	158,9	0,0435	0,0436	0,0436	0,0435	0,0436	0,0436
1 - b	0,6481	0,004065	159,4	0,0429	0,0428	0,0429	0,0431	0,0428	0,0429
1 - c	0,6415	0,004065	157,8	0,0429	0,0430	0,0430	0,0430	0,0429	0,0430
Průměr	0,6451	0,004065	158,7						<b>0,0431</b>

Součinitel tepelné vodivosti PUR 140 je roven  $\lambda_{10} = \underline{\underline{0,0431 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}}}$

Tab. 9 Stanovení součinitele tepelné vodivosti PUR 0-3

Vzorek	m [kg]	V [m <sup>3</sup> ]	$\rho_s$ [kg.m <sup>-3</sup> ]	$\lambda_{10}$ [W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> ]					
				Měření 1	Měření 2	Měření 3	Měření 4	Měření 5	Průměr
2 - a	0,2341	0,004065	57,6	0,0328	0,0327	0,0327	0,0328	0,0328	0,0328
2 - b	0,2301	0,004065	56,6	0,0331	0,0331	0,0330	0,0333	0,0332	0,0331
2 - c	0,2359	0,004065	58,0	0,0324	0,0323	0,0323	0,0325	0,0325	0,0324
Průměr	0,2334	0,004065	57,4						<b>0,0328</b>

Součinitel tepelné vodivosti PUR 0-3 je roven  $\lambda_{10} = \underline{\underline{0,0328 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}}}$

Tab. 10 Stanovení součinitele tepelné vodivosti PUR 3-5

Vzorek	m [kg]	V [m <sup>3</sup> ]	$\rho_s$ [kg.m <sup>-3</sup> ]	$\lambda_{10}$ [W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> ]					
				Měření 1	Měření 2	Měření 3	Měření 4	Měření 5	Průměr
3 - a	0,1634	0,004065	40,2	0,0334	0,0335	0,0331	0,0333	0,0334	0,0333
3 - b	0,1642	0,004065	40,4	0,0332	0,0332	0,0333	0,0331	0,0332	0,0332
3 - c	0,1628	0,004065	40,1	0,0336	0,0336	0,0336	0,0335	0,0335	0,0336
Průměr	0,1635	0,004065	40,2						<b>0,0334</b>

součinitele tepelné vodivosti PUR 3-5 je roven  $\lambda_{10} = \underline{\underline{0,0334 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}}}$

### 6.2.3. Výsledné shrnutí naměřených veličin PUR granulátu

Tab. 11 Výsledné vlastnosti jednotlivých PUR granulátů

Vzorek	Granulát	$\rho_s$ [kg.m <sup>-3</sup> ]	$\lambda_{10}$ [W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> ]
1	140	158,4	0,0431
2	0-3	57,2	0,0328
3	3-5	40,2	0,0334

### 6.3. Stanovení vlastností průmyslově vyráběné PUR izolační směsi

#### 6.3.1. Objemová hmotnost v čerstvém stavu

Objemová hmotnost v čerstvém stavu byla stanovena dle ČSN EN 1015-6 Zkušební metody malt pro zdivo - Část 6: Stanovení objemové hmotnosti čerstvé malty.

Objemová hmotnost byla stanovována s užitím forem na trámečky 40x40x160 mm a desky 300x300x60 mm.

**Tab. 12** Přehled hmotností průmyslově vyráběné směsi v čerstvém stavu a výsledné objemové hmotnosti

Ozn.	trámečky				desky	
	1	2	3	4	5	6
$m_1$ [kg]	11,74	11,73	10,51	11,7	5,29	5,22
$m_2$ [kg]	12,07	12,06	10,85	12,03	7,49	7,36
$m$ [kg]	0,33	0,33	0,34	0,33	2,2	2,14
$V$ [m <sup>3</sup> ]	0,000768	0,000768	0,000768	0,000768	0,0054	0,0054
$\rho$ [kg.m <sup>-3</sup> ]	430	430	443	430	407	396
<b>420</b>						

$m_1$  – hmotnost prázdné formy,  $m_2$  – hmotnost plné formy

Objemová hmotnost v čerstvém stavu průmyslově vyráběné směsi je rovna  $\rho = \underline{420 \text{ kg.m}^{-3}}$

#### 6.3.2. Objemová hmotnost v zatvrdlém stavu po 28 dnech

Objemová hmotnost v zatvrdlém stavu byla stanovena dle ČSN EN 1015-10 Zkušební metody malt pro zdivo - Část 10: Stanovení objemové hmotnosti suché zatvrdlé malty.

Objemová hmotnost byla stanovena na trámečkách 40x40x160 mm a deskách 300x300x60 mm.

**Tab. 13** Přehled hmotností a rozměrů desek z průmyslově vyráběné směsi a výsledné objemové hmotnosti po 28 dnech

Vzorek	a [mm]	b [mm]	h [mm]	m [g]	$\rho$ [kg.m <sup>-3</sup> ]
5	300,12	300,99	60,23	1492,23	274
	300,88	301,28	59,94		
	<b>300,50</b>	<b>301,14</b>	<b>60,09</b>		
6	298,98	302,00	60,21	1382,47	254
	299,65	301,16	60,44		
	<b>299,32</b>	<b>301,58</b>	<b>60,33</b>		

**Tab. 14** Přehled hmotností a rozměrů trámečků z průmyslově vyráběné směsi a výsledné objemové hmotnosti po 28 dnech

Vzorek	a [mm]	b [mm]	h [mm]	m [g]	$\rho$ [kg.m <sup>-3</sup> ]
1.1	158,14	39,87	41,45	<b>57,40</b>	<b>222</b>
	158,35	39,75	40,80		
	<b>158,25</b>	<b>39,81</b>	<b>41,13</b>		
1.2	158,87	40,62	42,93	<b>65,02</b>	<b>242</b>
	158,42	40,07	41,11		
	<b>158,65</b>	<b>40,35</b>	<b>42,02</b>		
1.3	158,71	40,51	40,93	<b>62,18</b>	<b>238</b>
	158,53	39,98	40,90		
	<b>158,62</b>	<b>40,25</b>	<b>40,92</b>		
2.1	158,43	40,20	40,97	<b>63,68</b>	<b>244</b>
	158,52	40,83	40,32		
	<b>158,48</b>	<b>40,52</b>	<b>40,65</b>		
2.2	158,85	40,42	41,03	<b>74,80</b>	<b>286</b>
	158,91	40,32	40,52		
	<b>158,88</b>	<b>40,37</b>	<b>40,78</b>		
2.3	158,92	40,35	40,86	<b>70,94</b>	<b>274</b>
	158,61	40,11	40,28		
	<b>158,77</b>	<b>40,23</b>	<b>40,57</b>		
3.1	158,39	40,87	40,64	<b>56,85</b>	<b>216</b>
	158,65	39,95	41,56		
	<b>158,52</b>	<b>40,41</b>	<b>41,10</b>		
3.2	158,81	39,86	42,14	<b>55,53</b>	<b>214</b>
	158,43	39,87	39,89		
	<b>158,62</b>	<b>39,87</b>	<b>41,02</b>		
3.3	158,18	39,86	40,09	<b>54,60</b>	<b>214</b>
	158,22	39,73	41,03		
	<b>158,20</b>	<b>39,80</b>	<b>40,56</b>		
4.1	160,14	40,09	39,97	<b>55,14</b>	<b>214</b>
	159,89	39,84	40,56		
	<b>160,02</b>	<b>39,97</b>	<b>40,27</b>		
4.2	160,08	40,04	39,96	<b>58,29</b>	<b>231</b>
	159,91	39,81	39,07		
	<b>160,00</b>	<b>39,93</b>	<b>39,52</b>		
4.3	159,09	40,08	42,00	<b>58,65</b>	<b>222</b>
	159,99	39,89	40,98		
	<b>159,54</b>	<b>39,99</b>	<b>41,49</b>		

Objemová hmotnost v zatvrdlém stavu průmyslově vyráběné směsi je rovna  $\rho = \underline{240 \text{ kg.m}^{-3}}$

### **6.3.3. Součinitel tepelné vodivosti**

Součinitel tepelné vodivosti byl stanoven dle ČSN 72 7012 Stanovení součinitele tepelné vodivosti materiálů v ustáleném tepelném stavu. Metoda desky. Část 3: Metoda měřidla tepelného toku.

Stanovení bylo provedeno na deskách 300x300x60 mm.

**Tab. 15** Přehled průměrných hodnot součinitele tepelné vodivosti stanovených metodou desky na průmyslově vyráběné směsi

Vzorek	Tloušťka [mm]	Součinitel tepelné vodivosti při střední teplotě 10°C [W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> ]
6	60,23	0,0836
5	60,15	0,0831
<b>Průměr</b>	<b>60,19</b>	<b>0,0834</b>

Součinitel tepelné vodivosti při střední teplotě 10°C je roven  $\lambda_{10} = \underline{\underline{0,0834 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}}}$

### **6.3.4. Pevnost v tlaku a pevnosti v tahu za ohybu po 28 dnech**

Pevnost v tlaku a pevnost v tahu za ohybu byla stanovena dle ČSN EN 1015-11 Zkušební metody malt pro zdivo - Část 11: Stanovení pevnosti zatvrdlých malt v tahu za ohybu a v tlaku.

Stanovení bylo provedeno na trámečkách 40x40x160 mm.

**Tab. 16** Přehled pevností v tahu za ohybu a pevností v tlaku po 28 dnech

Vzorek	b [mm]	h [mm]	F <sub>f</sub> [kN]	F <sub>c1</sub> [kN]	F <sub>c2</sub> [kN]	f [N.mm <sup>-2</sup> ]	f <sub>c</sub> [N.mm <sup>-2</sup> ]
1.1	39,70	41,90	0,12	0,30	0,35	0,26	0,20
1.2	39,90	40,50	0,12	0,40	0,40	0,28	0,25
1.3	49,80	41,40	0,11	0,35	0,35	0,19	0,22
						<b>0,24</b>	<b>0,22</b>

Pevnost v tlaku je rovna  $f_c = \underline{\underline{0,22 \text{ N.mm}^{-2}}}$

Pevnost v tahu za ohybu je rovna  $f = \underline{\underline{0,24 \text{ N.mm}^{-2}}}$

### **6.3.5. Výsledné shrnutí vlastností průmyslově vyráběné směsi**

**Tab. 17** Přehled vlastností průmyslově vyráběné směsi

Objemová hmotnost v čerstvém stavu	420 kg.m <sup>-3</sup>
Objemová hmotnost v zatvrdlém stavu	240 kg.m <sup>-3</sup>
Součinitel tepelné vodivosti	0,0834 W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup>
Pevnost v tlaku	0,22 N.mm <sup>-2</sup>
Pevnost v tahu za ohybu	0,24 N.mm <sup>-2</sup>

## 6.4. Stanovení vlastností navržené PUR-cementové směsi

### 6.4.1. Objemová hmotnost v čerstvém stavu

Objemová hmotnost v čerstvém stavu byla stanovena dle ČSN EN 1015-6 Zkušební metody malt pro zdivo - Část 6: Stanovení objemové hmotnosti čerstvé malty.

Objemová hmotnost byla stanovována s užitím forem na trámečky 40x40x160 mm, desky 300x300x60 mm a krychle 100x100x100 mm.

**Tab. 18** Přehled hmotností upravené směsi v čerstvém stavu a výsledné objemové hmotnosti

Ozn.	Trámečky 1	Krychle		Deska 4
		2	3	
$m_1$ [kg]	10,27	19,42	19,21	5,13
$m_2$ [kg]	10,63	20,86	20,67	7,86
$m$ [kg]	0,36	1,44	1,46	2,73
$V$ [m <sup>3</sup> ]	0,000768	0,003	0,003	0,0054
$\rho$ [kg.m <sup>-3</sup> ]	469	480	487	506
<b>490</b>				

$m_1$  – hmotnost prázdné formy,  $m_2$  – hmotnost plné formy

Objemová hmotnost navržené PUR-cementové směsi v čerstvém stavu je rovna  $\rho = \underline{490 \text{ kg.m}^{-3}}$

### 6.4.2. Objemová hmotnost v zatvrdlém stavu po 28 dnech

Objemová hmotnost v zatvrdlém stavu byla stanovena dle ČSN EN 1015-10 Zkušební metody malt pro zdivo - Část 10: Stanovení objemové hmotnosti suché zatvrdlé malty.

Objemová hmotnost byla stanovena na trámečkách 40x40x160 mm a krychlích 100x100x100 mm.

**Tab. 19** Přehled hmotností a rozměrů trámečků z navržené PUR-cementové směsi a výsledné objemové hmotnosti po 28 dnech

Vzorek	a [mm]	b [mm]	h [mm]	m [g]	$\rho$ [kg.m <sup>-3</sup> ]
1.1	39,70	42,52	159,50	<b>70,01</b>	<b>262</b>
	39,75	41,85	159,80		
	<b>39,73</b>	<b>42,19</b>	<b>159,65</b>		
1.2	39,70	42,42	159,50	<b>71,64</b>	<b>266</b>
	39,43	42,85	159,90		
	<b>39,57</b>	<b>42,64</b>	<b>159,70</b>		
1.3	39,60	43,77	159,70	<b>70,96</b>	<b>255</b>
	40,02	43,66	159,50		
	<b>39,81</b>	<b>43,72</b>	<b>159,60</b>		

**Tab. 20** Přehled hmotností a rozměrů krychlí z navržené PUR-cementové směsi a výsledné objemové hmotnosti po 28 dnech

Vzorek	a [mm]	b [mm]	h [mm]	m [g]	$\rho$ [kg.m <sup>-3</sup> ]
2.1	99,84	100,08	102,13		
	100,56	99,90	103,10		
	<b>100,20</b>	<b>99,99</b>	<b>102,62</b>	<b>304,00</b>	<b>296</b>
2.2	99,33	99,29	102,98		
	99,53	99,50	103,11		
	<b>99,43</b>	<b>99,40</b>	<b>103,05</b>	<b>270,08</b>	<b>265</b>
2.3	99,31	99,84	102,44		
	99,91	99,69	103,62		
	<b>99,61</b>	<b>99,77</b>	<b>103,03</b>	<b>274,84</b>	<b>268</b>
3.1	100,14	99,45	101,20		
	100,45	100,11	101,35		
	<b>100,30</b>	<b>99,78</b>	<b>101,28</b>	<b>295,37</b>	<b>291</b>
3.2	99,68	99,83	99,28		
	99,84	100,15	102,42		
	<b>99,76</b>	<b>99,99</b>	<b>100,85</b>	<b>288,07</b>	<b>286</b>
3.3	99,84	100,68	103,04		
	100,30	100,10	102,08		
	<b>100,07</b>	<b>100,39</b>	<b>102,56</b>	<b>281,64</b>	<b>273</b>

Objemová hmotnost v zatvrdlém stavu je rovna  $\rho = \underline{\underline{270 \text{ kg.m}^{-3}}}$

#### **6.4.3. Součinitel tepelné vodivosti**

**Tab. 21** Přehled průměrných hodnot součinitele tepelné vodivosti stanovených metodou desky z navržené PUR-cementové směsi

Vzorek	Součinitel tepelné vodivosti při střední teplotě 10°C [W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> ]					
	Měření 1	Měření 2	Měření 3	Měření 4	Měření 5	Průměr
4	0,0714	0,0715	0,0715	0,0715	0,0714	<b>0,0715</b>

Součinitel tepelné vodivosti při střední teplotě 10°C je roven  $\lambda_{10} = \underline{\underline{0,0715 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}}}$

#### **6.4.4. Napětí při 10% deformaci**

Napětí při 10% deformaci bylo stanoveno dle ČSN EN 826 Tepelněizolační výrobky pro použití ve stavebnictví - Zkouška tlakem.

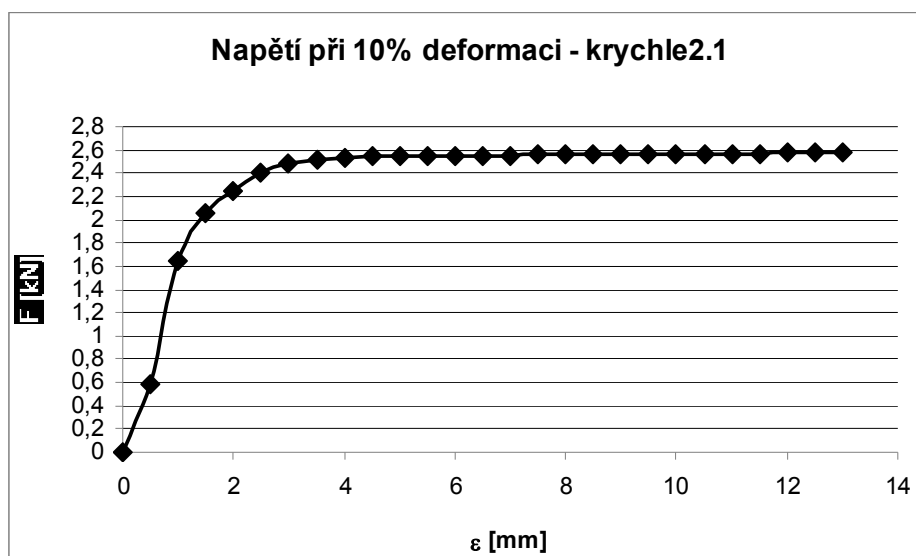
Napětí při 10% deformaci bylo stanoveno na krychlích 100x100x100 mm.

**Tab. 22** Přehled napětí při 10% deformaci navržené PUR-cementové směsi po 28 dnech

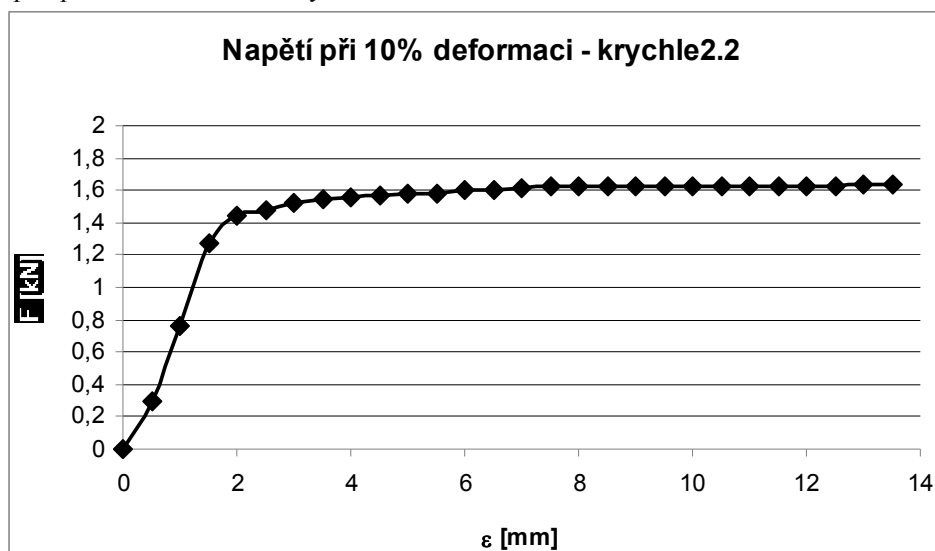
Krychle 2.1			Krychle 2.2			Krychle 2.3		
$d_0$	101,72	[mm]	$d_0$	98,97	[mm]	$d_0$	100,65	[mm]
$\rho$	296	[kg.m <sup>-3</sup> ]	$\rho$	265	[kg.m <sup>-3</sup> ]	$\rho$	291	[kg.m <sup>-3</sup> ]
$dx$	0,229	[mm]	$dx$	0,199	[mm]	$dx$	0,147	[mm]
$d_{10}$	10,40	[mm]	$d_{10}$	10,10	[mm]	$d_{10}$	10,21	[mm]
$A$	0,01	[m <sup>2</sup> ]	$A$	0,01	[m <sup>2</sup> ]	$A$	0,01	[m <sup>2</sup> ]
$\sigma_{10}$	<b>257</b>	[kPa]	$\sigma_{10}$	<b>163</b>	[kPa]	$\sigma_{10}$	<b>206</b>	[kPa]
deformace [mm]	d [mm]	F [kN]	deformace [mm]	d [mm]	F [kN]	deformace [mm]	d [mm]	F [kN]
0,0	101,72	0,00	0,0	98,97	0,00	0,0	100,65	0,00
0,5	101,22	0,58	0,5	98,47	0,30	0,5	100,15	0,60
1,0	100,72	1,65	1,0	97,97	0,76	1,0	99,65	1,45
1,5	100,22	2,05	1,5	97,47	1,27	1,5	99,15	1,67
2,0	99,72	2,25	2,0	96,97	1,44	2,0	98,65	1,78
2,5	99,22	2,40	2,5	96,47	1,48	2,5	98,15	1,93
3,0	98,72	2,48	3,0	95,97	1,52	3,0	97,65	1,97
3,5	98,22	2,52	3,5	95,47	1,54	3,5	97,15	2,01
4,0	97,72	2,53	4,0	94,97	1,56	4,0	96,65	2,03
4,5	97,22	2,54	4,5	94,47	1,57	4,5	96,15	2,04
5,0	96,72	2,55	5,0	93,97	1,58	5,0	95,65	2,05
5,5	96,22	2,55	5,5	93,47	1,58	5,5	95,15	2,05
6,0	95,72	2,55	6,0	92,97	1,60	6,0	94,65	2,05
6,5	95,22	2,55	6,5	92,47	1,60	6,5	94,15	2,05
7,0	94,72	2,55	7,0	91,97	1,61	7,0	93,65	2,05
7,5	94,22	2,56	7,5	91,47	1,62	7,5	93,15	2,05
8,0	93,72	2,56	8,0	90,97	1,62	8,0	92,65	2,06
8,5	93,22	2,56	8,5	90,47	1,62	8,5	92,15	2,06
9,0	92,72	2,57	9,0	89,97	1,63	9,0	91,65	2,06
9,5	92,22	2,57	9,5	89,47	1,63	9,5	91,15	2,06
10,0	91,72	2,57	10,0	88,97	<b>1,63</b>	10,0	90,65	<b>2,06</b>
10,5	91,22	<b>2,57</b>	10,5	88,47	1,63	10,5	90,15	2,06
11,0	90,72	2,57	11,0	87,97	1,63	11,0	89,65	2,06
11,5	90,22	2,57	11,5	87,47	1,63	11,5	89,15	2,06
12,0	89,72	2,58	12,0	86,97	1,63	12,0	88,65	2,07
12,5	89,22	2,58	12,5	86,47	1,63	12,5	88,15	2,07
13,0	88,72	2,58	13,0	85,97	1,64	13,0	87,65	2,07
13,5	88,22	2,58	13,5	85,47	1,64	13,5	87,15	2,07
14,0	87,72	2,58	14,0	84,97	1,64	14,0	86,65	2,07

Napětí při 10% deformaci je rovno  $\sigma_{10} = \underline{\underline{0,21 \text{ N.mm}^{-2}}}$

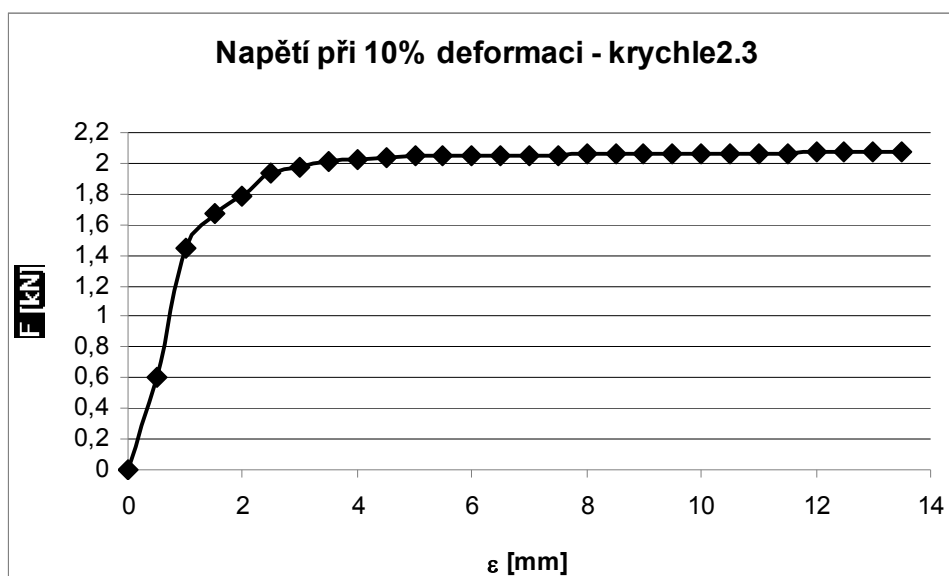
Graf 6 Napětí při 10% deformaci – krychle 2.1



Graf 7 Napětí při 10% deformaci – krychle 2.2



Graf 8 Napětí při 10% deformaci – krychle 2.3





#### **6.4.5. Pevnost v tahu za ohybu po 28 dnech**

Pevnost v tahu za ohybu byla stanovena dle ČSN EN 1015-11 Zkušební metody malt pro zdivo - Část 11: Stanovení pevnosti zatvrdlých malt v tahu za ohybu a v tlaku.

Stanovení bylo provedeno na trámečkách 40x40x160 mm.

**Tab. 23** Přehled pevností v tahu za ohybu po 28 dnech

Vzorek	b [mm]	h [mm]	$F_f$ [kN]	$f$ [N.mm <sup>-2</sup> ]
1.1	39,73	42,19	0,13	0,28
1.2	39,57	42,64	0,07	0,15
1.3	39,81	43,72	0,07	0,14
				<b>0,19</b>

Pevnost v tahu za ohybu je rovna  $f = \underline{\underline{0,19 \text{ MPa}}}$

#### **6.4.6. Výsledné shrnutí vlastností navržené PUR-cementové směsi**

**Tab. 24** Přehled vlastností navržené PUR-cementové směsi

Objemová hmotnost v čerstvém stavu	490 kg.m <sup>-3</sup>
Objemová hmotnost v zatvrdlém stavu	270 kg.m <sup>-3</sup>
Součinitel tepelné vodivosti	0,0715 W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup>
Pevnost v tlaku/Napětí při 10% deformaci	0,21 N.mm <sup>-2</sup>
Pevnost v tahu za ohybu	0,19 N.mm <sup>-2</sup>

## 7. Matematický výpočet výsledné tvarovky a zdiva

### 7.1. Výpočet tepelně technických vlastností cihelné tvarovky s izolační

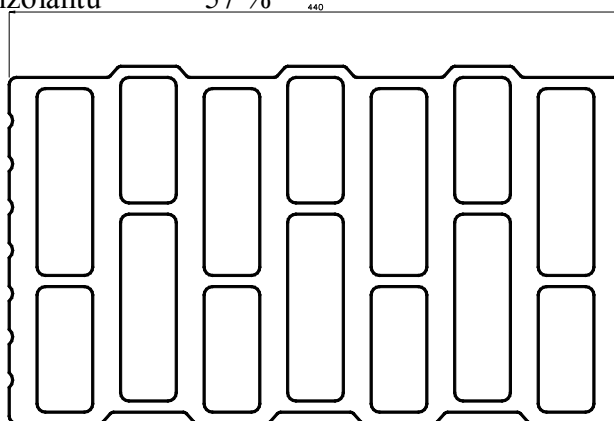
#### výplní

Pro výpočet byl použit vývojový tvar cihelné tvarovky 44 T-7, která byla navržena firmou Wieneberger. Při výpočtu byla zvolena hodnota tepelné vodivosti keramického střepeu  $0,300 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ . (tato hodnota představuje spodní hranici z pohledu tepelně izolačních vlastností cihelného střepeu u běžně vyráběných cihelných tvarovek pro obvodové konstrukce).

Na základě rozměrů a vnitřního uspořádání byl v programovém prostředí THERM vytvořen model zatížený účinkem teplotního pole  $\theta_i = \theta_i = +21^\circ\text{C}$ ,  $\theta_2 = \theta_e = -15^\circ\text{C}$ . Výpočet byl proveden pomocí metody konečných prvků v souladu s ČSN EN ISO 6946 Stavební prvky a stavební konstrukce – Tepelný odpor a součinitel prostupu tepla – Výpočtová metoda a ČSN EN 1745 Zdivo a výrobky pro zdivo – Metody stanovení návrhových tepelných hodnot.

Přehled údajů ke geometrickému uspořádání u výpočtového modelu:

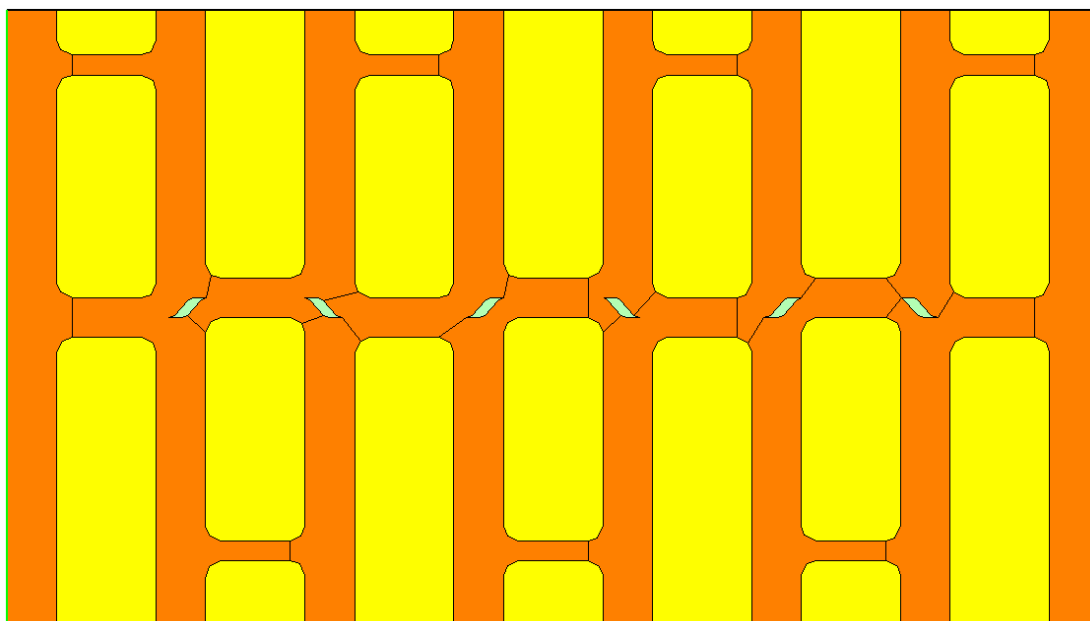
- Model 44 T – 7
- Počet řad 7
- Počet dutin 14
- Plocha tvarovky  $108849 \text{ mm}^2$
- Plocha dutin  $62286 \text{ mm}^2$
- Plocha žeber  $46563 \text{ mm}^2$
- Podíl izolantu 57 %



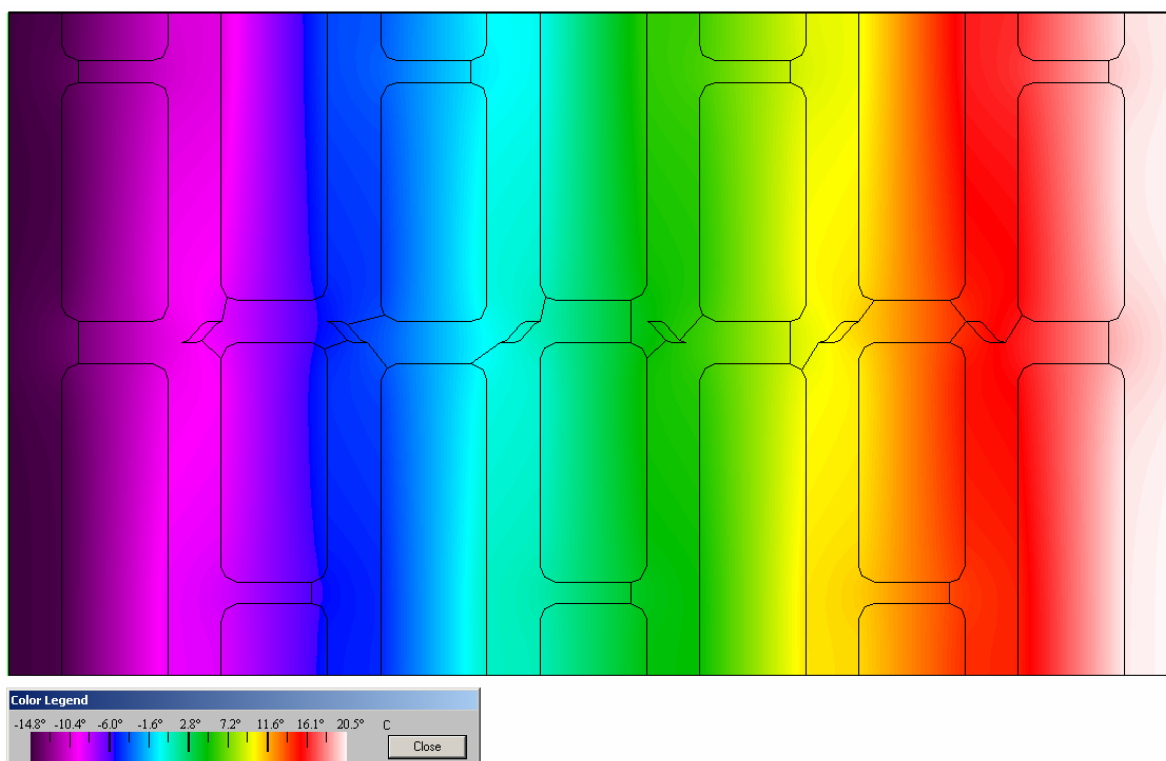
**Obr. 20** Geometrie tvarovky 44 T-7

**Tab. 25** Přehled vypočítaných tepelně technických vlastností výsledné tvarovky

$U [\text{W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}]$	0,2620
$R [\text{m}^2.\text{K}^1.\text{W}^{-1}]$	3,6518
$\lambda_{\text{eq}} [\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}]$	0,1205



**Obr. 21** Výpočtový model tvarovky 44 T – 7 (Popis materiálů: zelená: vzduch (tepelné hodnoty jsou voleny v souladu s ČSN EN ISO 6946), červená: keramický střepek ( $\lambda = 0,300 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ ), žlutá: izolační PUR výplň ( $\lambda = 0,072 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ )).



**Obr. 22** Výpočtové rozložení teplotního pole v tvarovce 44 T – 7 v zimním období (okrajové podmínky:  $\theta_1 = \theta_i = +21^\circ\text{C}$ ,  $\theta_2 = \theta_e = -15^\circ\text{C}$  ( $\lambda_{\text{střepek}} = 0,300 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ ;  $\lambda_{\text{izolant}} = 0,072 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ )).

## 7.2. Výpočet tepelně technických vlastností zdiva

Výpočet tepelného odporu / ekvivalentní hodnoty součinitele tepelné vodivosti zdiva z pálených zdících prvků 44 T – 7 byl proveden pomocí metody konečných prvků v souladu s ČSN EN ISO 6946 Stavební prvky a stavební konstrukce – Tepelný odpor a součinitel prostupu tepla – Výpočtová metoda a ČSN EN 1745 Zdivo a výrobky pro zdivo – Metody stanovení návrhových tepelných hodnot.

Jako vstupní hodnota byla použita ekvivalentní hodnota součinitele tepelné vodivosti páleného prvku  $\lambda_{eq} = 0,1205$  a hodnota součinitele tepelné vodivosti tepelně zdící malty POROTHERM DBM:  $\lambda_{10,dry} = 0,53 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ .

Výpočet byl proveden programovým prostředkem THERM na typickém svislém výřezu zdiva, přičemž tloušťka ložné spáry byla zvolena 1 mm. Výsledky výpočtů jsou uvedeny v následující tabulce:

**Tab. 26** Přehled vypočítaných tepelných hodnot u zdiva z pálených zdících prvků 44 T-7

$\lambda_{malta}$ [W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> ]	U [W.m <sup>-2</sup> .K <sup>-1</sup> ]	R <sub>0</sub> [m <sup>2</sup> .K.W <sup>-1</sup> ]	R [m <sup>2</sup> .K.W <sup>-1</sup> ]	$\lambda_{equ}$ [W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> ]
0,53	0,2654	3,7679	3,6029	0,1221

Ekvivalentní hodnota součinitele tepelné vodivosti byla dále upravena o vliv vlhkosti. Pro výpočet byl uvažován 6-ti % převodní součinitel objemové vlhkosti. Daná hodnota je stanovena pro 1,0 % hmotnostní vlhkost.

**Tab. 27** Přehled vypočítaných tepelných hodnot u zdiva z pálených prvků 44 T-7 při 1,0 % hmotnostní vlhkosti

$\lambda_{malta}$ [W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> ]	$\rho_v$ [kg.m <sup>-3</sup> ]	$u_v$ [%]	R [m <sup>2</sup> .K.W <sup>-1</sup> ]	U [W.m <sup>-2</sup> .K <sup>-1</sup> ]	$\lambda_{equ}$ [W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> ]
0,53	653,8	0,654	<b>3,4616</b>	<b>0,2757</b>	<b>0,1271</b>

## **D. Závěr**

Výsledná tvarovka, s použitím PUR – cementové výplně, dosahuje hodnoty součinitele prostupu tepla  $U = 0,2620 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$ . Zdivo z těchto tvarovek dosahuje hodnoty součinitele prostupu tepla  $U = 0,2757 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$  (při praktické vlhkosti 1% hm.). Tato hodnota je dostatečná pro splnění požadované hodnoty součinitele prostupu tepla, platícího od 1.1 2013, která je  $U_N = 0,3 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$ .

V porovnání s tvarovkou POROTHERM 44 P+D dosahuje výsledná tvarovka mírného zlepšení. Tvarovky POROTHERM 44 P+D dosahuje součinitele prostupu tepla  $U = 0,28 - 0,33 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$ .

Ve srovnání s již nabízeným sortimentem obdobných tvarovek kombinovaných s TI nedosahuje výsledná tvarovka lepších tepelně technických vlastností. V současné době se na českém trhu vyskytují tvarovky plněné minerální vlnou, které při šířce 425 mm dosahují součinitele prostupu tepla  $U = 0,17 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$ , či tvarovky plněné polystyrenem, které při šířce 440 mm dosahují součinitele prostupu tepla  $U = 0,14 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$ .

I přes dobré tepelně technické vlastnosti samotného PUR granulátu nedosahuje výsledná keramická tvarovka žádného zlepšení oproti současným tvarovkám. Uvážíme-li však, že se jedná o tvarovku s integrovanou izolací na bázi silikátového pojiva, jsou výsledné vlastnosti keramické tvarovky dobré. Negativem při tomto použití je i nasákavost drčené PUR pěny. Nasákavost činí 415%. Již při laboratorních zkoušeních na uvedených tělesech bylo pozorováno velmi dlouhé vysychání absorbované vody, potřebné na zpracování směsi.

Pro další výzkumné práce se jeví použitý PUR granulát jako perspektivní, pro zlepšení tepelně izolačních vlastností však bude nutné hledat alternativní pojiva, pravděpodobně na polymerní bázi, aby bylo dosaženo zlepšení poměru tepelně izolačních a mechanických vlastností.



**Obr. 23** Výsledná PUR – cementová výplň z odpadního granulátu PUR 3-5

## **E. Seznamy**

### **Seznam použité literatury**

- [1] Sokolář, R., Současné pálené zdicí prvky pro vnější obvodové zdivo a jejich použití, Realizace staveb, ISSN 1802-0631, Jaga Media, s.r.o., Praha, 2011
- [2] ČSN 73 0540 - 1 Tepelná ochrana budov - Část 1: Terminologie
- [3] Svoboda L. a kol, Stavební hmoty, ISBN 978-80-8076-057-1, Jaga group, s.r.o., Bratislava, 2007
- [4] Fric J., Ekonomické hodnocení použitelnosti lehčiv pro cihlářský střeš, bakalářská práce, VUT Brno, FAST, 2011
- [5] Bronzeoak Ltd, Rice Husk Ash Market Study, ETSU U/00/00061/REP DTI/Pub URN 03/668, 2003
- [6] Wikipedia. 2012. Otruby [online]. Dostupné z WWW: „<http://cs.wikipedia.org/wiki/Otruby>”
- [7] Abdul Kadir A., Mohajerani A., Roddick F. a Buckeridge J., Density, strength, thermal conductivity and leachate characteristics of light-weight fired clay bricks incorporating cigarette butts, Proceedings of the World Academy of Science, Engineering and Technology 2009, ISSN 2070-3740, World Academy of Science, Engineering and Technology, 2009
- [8] Sokolář, R., Recyklace odpadu z výroby cementotřískových desek v cihlářském střepu, Recycling 2004- Možnosti a perspektivy recyklace stavebních odpadů jako zdroje plnohodnotných surovin, ISBN 80-214-2583-0, ARSM, Brno, 2004
- [9] Nair N.G. a Markham J., Recycling Solid Waste from the Olive Oil Extraction Process, ISBN 1-74151-754-0, Rural Industries Research and Development Corporation, 2008
- [10] Wikipedia. 2012. Mineralwolle [online]. Dostupné z WWW: „<http://de.wikipedia.org/wiki/Mineralwolle>”
- [11] Wikipedia. 2012. Mineral wool [online]. Dostupné z WWW: „[http://en.wikipedia.org/wiki/Mineral\\_wool](http://en.wikipedia.org/wiki/Mineral_wool)”
- [12] Wikipedia. 2012. Polystyrene [online]. Dostupné z WWW: „<http://en.wikipedia.org/wiki/Polystyrene>”
- [13] Wikipedia. 2012. Polystyrol [online]. Dostupné z WWW: „<http://de.wikipedia.org/wiki/Polystyrol>”

- [14] Spotřebitelské otázky contributors (2010), Co je to expandovaný perlit?, Spotřebitelské otázky 2012. Dostupné z WWW: „[http://www.ekoporadna.cz/wiki/doku.php?id=stavby:co\\_je\\_to\\_expandovany\\_perlit&rev=1282208337](http://www.ekoporadna.cz/wiki/doku.php?id=stavby:co_je_to_expandovany_perlit&rev=1282208337)”
- [15] Perlit. 2012. [online]. Dostupné z WWW: „<http://www.perlite.net/>”
- [16] Wikipedie. 2012. Ovčí vlna [online]. Dostupné z WWW: „[http://cs.wikipedia.org/wiki/Ovčí\\_vlna](http://cs.wikipedia.org/wiki/Ovčí_vlna)”
- [17] Krňanský J. Tepelná izolace z ovčí vlny, 2010, Tepelná izolace z ovčí vlny [online], Dostupné z WWW: „<http://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/materialy-a-vyroby/tepelne-izolace/tepelna-izolace-z-ovci-vlny-1694.html>”
- [18] Wikipedia. 2012. Polyurethane [online]. Dostupné z WWW: „<http://en.wikipedia.org/wiki/Polyurethane>“
- [19] Ing. Antonín Horský a kol. 2011. Projekt MPO ČR program TIP ev. č. FR-TI3/231, dílčí zpráva č. 1/2011, Wienerberger cihlářský průmysl a. s., České Budějovice 2011
- [20] Internetové stránky výrobců - [www.wienerberger.cz](http://www.wienerberger.cz), [www.heluz.cz](http://www.heluz.cz), [www.pexider.at](http://www.pexider.at), [www.schlagmann.de](http://www.schlagmann.de), [www.unipor.de](http://www.unipor.de), [www.juwoe-planziegel.de](http://www.juwoe-planziegel.de),
- [21] ČSN EN 933-1 Zkoušení geometrických vlastností kameniva - Část 1: Stanovení zrnitosti - Sítový rozbor.
- [22] ČSN 72 7012-3 Stanovení součinitele tepelné vodivosti materiálů v ustáleném tepelném stavu. Metoda desky. Část 3: Metoda měřidla tepelného toku.
- [23] ČSN EN 1097-3 Zkoušení mechanických a fyzikálních vlastností kameniva - Část 3: Stanovení sypné hmotnosti a mezerovitosti volně sypaného kameniva
- [24] ČSN EN 1015-6 Zkušební metody malt pro zdivo - Část 6: Stanovení objemové hmotnosti čerstvé malty
- [25] ČSN EN 1015-10 Zkušební metody malt pro zdivo - Část 10: Stanovení objemové hmotnosti suché zatvrdlé malty.
- [26] ČSN EN 1015-11 Zkušební metody malt pro zdivo - Část 11: Stanovení pevnosti zatvrdlých malt v tahu za ohybu a v tlaku
- [27] ČSN EN 826 Tepelněizolační výrobky pro použití ve stavebnictví – Zkouška tlakem